

KARBONISASI LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT MELALUI TEKNIK PIROLISIS PLASMA

PUTRI ARIBAH



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Karbonisasi Limbah Cangkang Kelapa Sawit melalui Teknik Pirolisis Plasma” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Februari 2024

Putri Aribah
G7401201060

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

PUTRI ARIBAH. Karbonisasi Limbah Cangkang Kelapa Sawit melalui Teknik Pirolisis Plasma. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI dan RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber karbon. Metode yang dapat digunakan untuk mensintesis karbon yaitu pirolisis plasma menggunakan *Arc Plasma Sintering* (APS) dengan variasi arus (40 A, 50 A, 60 A, 70 A, dan 80 A). Sampel karbon kemudian dikarakterisasi menggunakan *Raman Spectroscopy*, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil analisis dengan *Raman Spectroscopy* menunjukkan rasio I_G/I_D pada sampel dengan perlakuan arus 40 A, 50 A, 60 A, 70 A, dan 80 A masing-masing sebesar 0,4300, 0,4615, 0,5271, 0,6963, dan 0,4466. Rasio I_G/I_D cenderung meningkat seiring dengan peningkatan arus plasma hingga 70 A. Hasil data XRD menunjukkan difraktogram yang menyerupai amorf dan menunjukkan bahwa sampel karbon memiliki struktur turbostratik. Hasil gambar TEM kelima sampel menunjukkan fasa amorf dan kristal. Sampel karbon hasil plasma mengalami transformasi fasa amorf menuju kristal yang melewati fasa turbostratik. Hasil perhitungan parameter kisi dari pola SAED (*Selected Area Electron Diffraction*) TEM diperoleh nilai parameter kisi yang mendekati nilai parameter kisi untuk struktur kristal grafit. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang sama pada semua sampel karbon dengan variasi arus.

Kata kunci: cangkang kelapa sawit, karbon, pirolisis plasma

ABSTRACT

PUTRI ARIBAH. *Carbonization of Palm Oil Shell Waste via Plasma Pyrolysis Technique*. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

Palm oil shells are biomass waste that can be used as a carbon source. The method that can be used to synthesize carbon is plasma pyrolysis using Arc Plasma Sintering (APS) with varying currents (40 A, 50 A, 60 A, 70 A, and 80 A). The carbon samples were then characterized using Raman Spectroscopy, X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results of analysis using Raman Spectroscopy show that the I_G/I_D ratio in samples treated with currents of 40 A, 50 A, 60 A, 70 A, and 80 A is 0,4300, 0,4615, 0,5271, 0,6963, and 0,4466, respectively. The I_G/I_D ratio tends to increase as the plasma current increases up to 70 A. The results of the XRD data show a diffractogram that resembles amorphous and indicates that the carbon sample has a turbostratic structure. The TEM image results of the five samples show amorphous and crystalline phases. The carbon sample produced by plasma undergoes an amorphous phase transformation to crystalline which passes through the turbostratic phase. The results of lattice parameter calculations from the SAED (Selected Area Electron Diffraction) TEM pattern show lattice parameter values that are close to the lattice parameter values for the graphite crystal structure. FTIR results show the presence of the same functional groups in all carbon samples with varying currents.

Key words: carbon, palm oil shells, plasma pyrolysis

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



KARBONISASI LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT MELALUI TEKNIK PIROLISIS PLASMA

PUTRI ARIBAH

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Setyanto Tri Wahyudi, S.Si., M.Si.
2. Dr. Siti Nikmatin, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Karbonisasi Limbah Cangkang Kelapa Sawit melalui Teknik
Pirolisis Plasma

Nama : Putri Aribah

NIM : G7401201060

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

Raden Ibrahim Purawiardi, S.TP., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, S.Si., M.Si.

NIP. 19720519 1997021001



Tanggal Ujian: 01 Juli 2024

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil'Alamin, segala puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas Rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan lancar. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Penyusunan skripsi yang berjudul “Karbonisasi Limbah Cangkang Kelapa Sawit melalui Teknik Pirolisis Plasma” dibuat sebagai bukti bahwa penulis telah menyelesaikan skripsi di Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada segenap pihak yang telah membantu pada setiap proses penelitian tugas akhir yang penulis kerjakan sampai akhir. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. *Allah Subhanahu wa Ta'ala*
2. Kedua orang tua, beserta keluarga besar yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil.
3. Ibu Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah membimbing, memberikan saran, dukungan serta motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Raden Ibrahim Purawardi, S.TP., M.Si. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dalam penelitian tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Setyanto Tri Wahyudi, S.Si., M.Si dan Ibu Dr. Siti Nikmatin, S.Si., M.Si selaku dosen penguji, atas koreksi dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ing. Arbi Dimiyati, Ibu Airine Hijrah Handayani, S.T serta semua civitas Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir BRIN Serpong yang telah membimbing dan membantu penulis saat melakukan penelitian.
7. Muhammad Al Vanriadi, Listya Rizki Putri (lilis), Nazwa Nuradila Putri (wawa), Nuraini Putri Aluani (ayya), Silvana Julianti (ana), Riana Ayu (riana), dan sobat aisyah yang senantiasa memberikan semangat, hiburan dan lawakan receh dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Sahabat-sahabat fisika IPB University Angkatan 57 yang senantiasa memberikan semangat dan inspirasi.
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tanpa mengurangi rasa hormat penulis tidak dapat sebutkan satu-persatu.

Semoga Allah membalas seluruh amal kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwasannya penyusunan skripsi ini masih

terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bogor, Februari 2024

Putri Aribah

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

Perpustakaan IPB University



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Biomassa Kelapa Sawit	3
2.2 Pirolisis	4
2.2.1 Pengertian Pirolisis	4
2.2.2 Tipe-tipe Pirolisis	4
2.2.3 Proses Pirolisis	4
2.2.4 HasilProdukPirolisis	6
2.3 Busur Plasma	7
2.4 Karbon	7
2.5 Grafit	8
2.6 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	9
2.7 <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	10
2.8 <i>Raman Spectroscopy</i>	11
2.9 <i>Spectroscopy Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	11
2.10 <i>Gas Chromatography</i> (GC)	12
III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Prosedur Penelitian	13
3.3.1 Preparasi Cangkang Kelapa Sawit	14
3.3.2 Analisis Proksimat danUltimat	14
3.3.3 Proses Pirolisis Plasma Menggunakan <i>Arc Plasma Sintering</i>	14
3.3.4 Karakterisasi Struktur Kristal dan Morfologi	15
3.3.5 Karakterisasi Gugus Fungsi	15
3.3.6 Karakterisasi Komponen Gas	15
3.4 Analisis data	15

Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Analisis Proses Pirolisis Plasma Cangkang Kelapa Sawit	17
4.2 Pengaruh Arus Plasma terhadap Rendemen Arang	18
4.3 Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat	18
4.4 Hasil Analisis Raman Spektroskopi	20
4.5 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i>	22
4.6 Hasil Analisis <i>Transmission Electron Microscopy</i>	24
4.7 Hasil Analisis Spektroskopi <i>Fourier Transform InfraRed</i>	31
4.8 Hasil Analisis <i>Gas Chromatography</i>	39
V SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	53
RIWAYAT HIDUP	82

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR TABEL

1	Kandungan lignoselulosa biomassa sawit	3
2	Perbedaan sifat grafit dengan keluarga karbon lain	8
3	Analisis proksimat dan ultimat cangkang kelapa sawit dan beberapa literatur pembanding	19
4	Letak pita <i>D-Band</i> dan <i>G-Band</i> pada <i>Raman shift</i> (cm^{-1})	21
5	Nilai 2θ dan <i>d-spacing</i>	24
6	Perhitungan <i>d-spacing</i> dan hkl	27
7	Rasio nilai parameter kisi c dengan <i>a</i>	30
8	Gugus fungsi sampel karbon hasil pirolisis plasma	33
9	Nilai <i>bond energy</i> beberapa ikatan atom	35
10	Kelimpahan (% volume) komponen komponen gas hasil pirolisis plasma	39
11	Hasil perhitungan stoikiometri	40
12	Hasil perhitungan eksergi dan efisiensi eksergi	42
13	Hasil perhitungan efisiensi eksergi	45

DAFTAR GAMBAR

1	Skema proses pirolisis	5
2	Struktur grafit	9
3	Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD	10
4	Bagian-bagian TEM	10
5	Instrumentasi spektrofotometer IR	11
6	Komponen sistem kromatografi gas	12
7	Diagram alir tahapan penelitian	13
8	Tahapan proses pirolisis plasma	14
9	Sampel hasil pirolisis plasma dari cangkang kelapa sawit	17
10	Pengaruh arus plasma terhadap rendemen arang cangkang kelapa sawit	18
11	Spektrum Raman cangkang kelapa sawit hasil plasma sampel (a) 40 A, (b) sampel 50 A, (c) sampel 60 A, (d) sampel 70 A, (e) sampel 80 A	20
12	Pengaruh arus plasma terhadap rasio grafitisasi	22
13	Pola XRD sampel cangkang kelapa sawit hasil pirolisis plasma (a) sampel 40 A, (b) sampel 50 A, (c) sampel 60 A, (d) sampel 70 A, (e) sampel 80 A	23
14	Citra TEM (a) sampel dengan arus 40 A perbesaran 150000x, (b) sampel dengan arus 40 A perbesaran 240000x	24
15	Citra TEM (a) sampel dengan arus 50 A perbesaran 13500x, (b) sampel dengan arus 50 A perbesaran 28000x	25
16	Citra TEM (a) sampel dengan arus 60 A perbesaran 3400x, (b) sampel dengan arus 60 A perbesaran 36000x	25
17	Citra TEM (a) sampel dengan arus 70 A perbesaran 36000x, (b) sampel dengan arus 70 A perbesaran 240000x	25

18	Citra TEM (a) sampel dengan arus 80 A perbesaran 8500x, (b) sampel dengan arus 80 A perbesaran 17500x	26
19	Pola difraksi (a) sampel dengan arus 40 A, (b) sampel dengan arus 50 A, (c) sampel dengan arus 60 A	26
20	Pola difraksi (a) sampel dengan arus 70 A, (b) sampel dengan arus 80 A	27
21	Grafik hubungan arus plasma terhadap parameter kisi <i>a</i>	29
22	Grafik hubungan arus plasma terhadap parameter kisi <i>c</i>	29
23	Grafik hubungan arus plasma terhadap rasio parameter kisi <i>c/a</i>	29
24	Parameter kisi pada grafit kristal heksagonal (a) sampel 40 A, (b) sampel 50 A, (c) sampel 60 A, (d) sampel 70 A, (e) sampel 80 A	30
25	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 40 A	31
26	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 50 A	31
27	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 60 A	32
28	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 70 A	32
29	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 80 A	32
30	Prediksi struktur grafit oksida (a) sampel karbon dengan arus 40 A, (b) sampel karbon dengan arus 50 A, (c) sampel karbon dengan arus 60 A, (d) sampel karbon dengan arus 70 A, (e) sampel karbon dengan arus 80 A	34
31	Proses pemutusan ikatan (disosiasi) pada struktur selulosa	35
32	Prediksi 1 hibridisasi pada selulosa	37
33	Prediksi 2 hibridisasi pada selulosa	37
34	Prediksi 3 hibridisasi pada selulosa	37
35	Produk hasil pirolisis plasma	37
36	(a) Sketsa struktur mikro karbon turbostratik, (b) ilustrasi tumpukan grafena	38
37	Perbandingan komposisi gas	39
38	Diagram sankey <i>exergy loss</i> pada perlakuan arus (a) 40 A, (b) 50 A	43
39	Diagram sankey <i>exergy loss</i> pada perlakuan arus (a) 60 A, (b) 70 A, (c) 80 A	44
40	Hubungan arus plasma terhadap efisiensi eksergi gas	45

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil perhitungan nilai rendemen arang cangkang kelapa sawit	54
2	Kalkulasi koefisien mol pada reaksi pirolisis plasma	55
3	Perhitungan <i>d-spacing</i> dan parameter kisi	57
4	Citra TEM dalam beberapa perbesaran	67
5	Hasil uji Raman Spektroskopi	68
6	Hasil uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	71
7	Basis data ICSD grafit	76
8	Data hasil <i>fitting</i> spektrum raman menggunakan <i>OriginLab</i>	78
9	Foto dokumentasi	80

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.