

PRODUKSI DAN KARAKTERISTIK *HYDROCHAR* DARI PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL MAKROALGA *Sargassum* sp. DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

FADHILA KHATAMI PUTRA



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- 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.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Produksi dan Karakteristik *Hydrochar* dari Proses Karbonisasi Hidrotermal Makroalga *Sargassum* sp. dan Tandan Kosong Kelapa Sawit” 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, Juni 2025

Fadhila Khatami Putra
F1401211076

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

FADHILA KHATAMI PUTRA. Produksi dan Karakteristik *Hydrochar* dari Proses Karbonisasi Hidrotermal Makroalga *Sargassum* sp. dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. Dibimbing oleh OBIE FAROBIE.

Isu keberlanjutan energi mendorong pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu (180, 200, dan 220 °C), waktu reaksi (30, 60, dan 90 menit), dan rasio campuran biomassa *Sargassum* sp. dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (100:0, 70:30, 50:50, 30:70, dan 0:100) terhadap kualitas *hydrochar* yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal, serta mengevaluasi potensi *hydrochar* dan hidrolisat sebagai bahan bakar padat, adsorben, dan sumber senyawa bioaktif. Proses dilakukan dengan konsentrasi bahan 5% dan tekanan 5 MPa. Hasil menunjukkan bahwa rasio SAR:TKKS 30:70 pada suhu 200 °C selama 60 menit menghasilkan *hydrochar* dengan luas permukaan dan volume pori tertinggi, masing-masing sebesar 2091,478 m²/g dan 1,085 cc/g, menjadikannya potensial untuk aplikasi adsorpsi. Rendemen tertinggi (62,1%) diperoleh dari rasio 0:100 pada suhu 200 °C, yang juga dinilai sebagai perlakuan terbaik berdasarkan metode De Garmo (nilai produk 0,8605). Penurunan kadar air terendah sebesar 8,8775% tercatat pada rasio 30:70 pada suhu 220 °C selama 90 menit. Hasil SEM memperlihatkan degradasi struktur pada *Sargassum* sp., sementara TKKS menunjukkan kestabilan lignoselulosa. Nilai pH fase cair (*liquid phase*) menunjukkan karakter asam akibat dekomposisi senyawa organik, dengan pH terendah sebesar 4,13. Analisis TGA menunjukkan bahwa TKKS mengalami penurunan massa signifikan pada zona devolatilisasi (dari suhu 200 hingga 400 °C), sedangkan *Sargassum* sp. menghasilkan residu karbon lebih tinggi pada zona char. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik fisikokimia *hydrochar* dipengaruhi secara kompleks oleh interaksi parameter proses dan komposisi biomassa, serta menunjukkan potensi aplikatif baik untuk energi terbarukan maupun pengolahan lingkungan.

Kata kunci: *hydrochar*, karakteristik produk, karbonisasi hidrotermal, *Sargassum* sp., TKKS



ABSTRACT

FADHILA KHATAMI PUTRA. Production and Characterization of *Hydrochar* from the Hydrothermal Carbonization of *Sargassum* sp. Macroalgae and Oil Palm Empty Fruit Bunches. Supervised by OBIE FAROBIE.

The growing urgency of energy sustainability has driven the exploration of biomass as a renewable feedstock. This study aims to analyze the effects of temperature (180, 200, and 220 °C), reaction time (30, 60, and 90 minutes), and the mixing ratio of *Sargassum* sp. and oil palm empty fruit bunches (OPEFB) of oil palm (100:0, 70:30, 50:50, 30:70, and 0:100) on the quality of *hydrochar* produced via hydrothermal carbonization, as well as to evaluate the potential of both *hydrochar* and hydrothermal liquor as solid fuel, adsorbent, and a source of bioactive compounds. The process was carried out at 5% biomass concentration and 5 MPa pressure. Results showed that the SAR:OPEFB ratio of 30:70 at 200 °C for 60 minutes yielded *hydrochar* with the highest surface area and pore volume, reaching 2091.478 m²/g and 1.085 cc/g, respectively, making it a promising material for adsorption applications. The highest yield (62.1%) was obtained from the 0:100 ratio at 200 °C, which was also identified as the optimal treatment based on the De Garmo method (product score of 0.8605). The lowest moisture content (8.8775%) was observed at the 30:70 ratio under 220 °C for 90 minutes. SEM analysis revealed significant structural degradation in *Sargassum* sp., whereas OPEFB maintained its lignocellulosic integrity. The pH of the liquid phase indicated acidic characteristics due to the decomposition of organic compounds, with the lowest value recorded at 4.13. TGA analysis showed substantial mass loss in OPEFB within the devolatilization zone (200–400 °C), while *Sargassum* sp. yielded higher carbon residue in the char formation zone. These findings highlight the complex interplay between process parameters and biomass composition in determining the physicochemical properties of *hydrochar*, and underscore its potential for renewable energy, adsorption, and environmental remediation applications.

Keywords: *hydrochar*, hydrothermal carbonization, OPEFB, product characteristics, *Sargassum* sp.

@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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin 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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
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.

**PRODUKSI DAN KARAKTERISTIK *HYDROCHAR* DARI
PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL MAKROALGA
Sargassum sp. DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

FADHILA KHATAMI PUTRA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- 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. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.
- 2 Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si.



Judul Skripsi : Produksi dan Karakteristik *Hydrochar* dari Proses Karbonisasi Hidrotermal Makroalga *Sargassum* sp. dan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Nama : Fadhila Khatami Putra
NIM : F1401211076

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.

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Eng. Obie Farobie, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem:
Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.
NIP 196304251989031001



Tanggal Ujian:
16 Juni 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanaahu Wa Ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2024 sampai bulan Maret 2025 ini ialah proses karbonisasi hidrotermal dalam produksi *hydrochar*, dengan judul “Produksi dan Karakteristik *Hydrochar* dari Proses Karbonisasi Hidrotermal Makroalga *Sargassum* sp. dan Tandan Kosong Kelapa Sawit”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Skripsi ini tersusun atas bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak selama penulisan, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Dr. Eng. Obie Farobie, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan memberikan pengarahan materi maupun rohani kepada penulis sehingga penelitian yang dilakukan oleh penulis berjalan dengan lancar.
2. Dosen penguji yaitu Bapak Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr. dan Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si. serta Ibu dosen moderator Ibu Kania Amelia Safitri, S.T., M.T.
3. Ayah (Erwin Tasrif Rahman), Ibu (S. Dyah Pusparini), dan Kakak (Giffary Risa Nugraha), serta seluruh keluarga yang selalu memberikan do'a, semangat, dan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Prof. Widya Fatriasari, S.Hut., M.M. dan Mbak Ade Pera Sudrajat Amydha Herawati Pendi, S.Hut. selaku *researcher* di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian
5. Staf Laboratorium *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) yang telah membantu dan memberikan kesempatan kepada penulis dalam melakukan penelitian.
6. Teman-teman Departemen Teknik Mesin dan Biosistem angkatan 58 atas segala dukungan, semangat, dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama penelitian.
7. Sahabat saya semenjak SMA yaitu Jasmine dan Putri atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan setiap saat kepada penulis hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran yang konstruktif dari semua pihak demi penulisan dan penelitian yang lebih baik. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan khususnya terkait proses karbonisasi hidrotermal dengan variasi potensi penggunaan bahan biomassa.

Bogor, Juni 2025

Fadhila Khatami Putra



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Sargassum</i> sp.	4
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit	5
2.3 Karbonisasi Hidrotermal	6
2.4 <i>Hydrochar</i>	8
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Kerja	10
3.4 Analisis Data	20
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Pengujian TGA terhadap Bahan Baku Sampel	23
4.2 Hasil Proses Karbonisasi Hidrotermal	25
4.3 Pengukuran Nilai pH Cairan	29
4.4 Analisis Panjang Gelombang Maksimum pada Produk Cairan	31
4.5 Analisis Uji Antioksidan dengan Metode DPPH	34
4.6 Pengamatan Mikroskop dan SEM	36
4.7 Pengujian Gugus Fungsi dengan FTIR	38
4.8 Pengujian Karakteristik Material dengan BET	41
4.9 Pengukuran Kadar Air dan Abu pada Sampel	44
4.10 Penentuan Perlakuan Terbaik	47
4.11 Hasil Uji Analisis Statistik ANOVA	48
V SIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Simpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	56
RIWAYAT HIDUP	103

DAFTAR TABEL

1	Klasifikasi <i>Sargassum</i> sp.	4
2	Klasifikasi TKKS	5
3	Perbandingan hasil penelitian karbonisasi hidrotermal dari <i>proximate</i> dan <i>ultimate analysis</i> untuk beberapa jenis makroalga dan tanaman darat	7
4	Komposisi biomassa SAR:TKKS untuk konsentrasi bahan baku 5%	12
5	Kondisi eksperimen	13
6	Variasi perlakuan sampel eksperimen	13
7	Matriks metode percobaan	21
8	Hasil analisis BET pada sampel bahan baku dan <i>hydrochar</i>	42
9	Hasil penentuan perlakuan terbaik dengan metode indeks efektivitas De Garmo	48

DAFTAR GAMBAR

1	Sampel <i>Sargassum</i> sp. sebelum perlakuan karbonisasi hidrotermal. (A) <i>Sargassum</i> sp. segar setelah pencucian. (B) <i>Sargassum</i> sp. setelah proses pengeringan di oven	5
2	Sampel TKKS sebelum perlakuan karbonisasi hidrotermal	6
3	Mekanisme proses karbonisasi hidrotermal	6
4	Visualisasi <i>hydrochar</i> . (A) <i>Hydrochar</i> dari proses karbonisasi hidrotermal <i>Sargassum</i> sp. (B) <i>Hydrochar</i> dari proses karbonisasi hidrotermal TKKS	8
5	Diagram alir penelitian	10
6	Bagian-bagian reaktor hidrotermal yang telah dirangkai dan terhubung dengan <i>temperature controller</i> atau <i>data logger</i>	15
7	Sketsa alur kerja <i>high pressure reactor</i>	16
8	Diagram skematik sistem uji karbonisasi hidrotermal (<i>hydrothermal carbonisation test rig</i>). (1) Bejana reaktor (<i>reactor vessel</i>). (2) Sambungan kedap tekanan (<i>pressure-tight fittings</i>). (3) Termokopel tipe-K (<i>K-type thermocouple</i>). (4) Sensor tekanan (<i>pressure sensor</i>). (5) Katup pengaman tekanan (<i>pressure relief valve</i>). (6) Termokopel tipe-K yang terhubung ke sistem PLC. (7) Media pemanas <i>fluidised bed</i> . (8) Pemanas pita dengan lapisan tahan api keramik (<i>band heaters with ceramic refractory lining</i>). (9) Rotameter. (10) Katup kontrol aliran (<i>control valve</i>). (11) Timbangan laboratorium. (12) Alat pemeras mekanis (<i>mechanical dewatering press</i>). (13) Oven pengering (<i>drying oven</i>)	17
9	Hasil uji TG pada sampel bahan baku dari pemanasan pada rasio SAR:TKKS 0:100, 50:50, dan 100:0 sebelum proses HTC	24
10	Hasil uji DTG pada sampel bahan baku dari pemanasan pada rasio SAR:TKKS 0:100, 50:50, dan 100:0 sebelum proses HTC	24

11	Jalur reaksi utama degradasi glukosa dan fruktosa dalam air subkritis. Glcp= <i>glucopyranose</i> , Glcf= <i>glucofuranose</i> , Frup= <i>fructopyranose</i> , Fruf= <i>fructofuranose</i> , 5-HMF= 5-(<i>hydroxymethyl</i>) furfural	25
12	Sampel segar sebelum perlakuan hingga menjadi <i>hydrochar</i> hasil proses HTC. (A) <i>Sargassum</i> sp. segar setelah pencucian. (B) <i>Sargassum</i> sp. setelah pengeringan. (C) <i>Sargassum</i> sp. setelah penggilingan dan penyaringan. (D-F) <i>Hydrochar</i> hasil proses HTC pada suhu 180, 200, dan 220 °C selama 60 menit	26
13	Sampel segar sebelum perlakuan hingga menjadi <i>hydrochar</i> hasil proses HTC. (A) TKKS segar setelah pencucian. (B) TKKS setelah penggilingan dan penyaringan,. (C-E) <i>Hydrochar</i> hasil proses HTC pada suhu 180, 200, dan 220 °C selama 60 menit	26
14	Sampel setelah perlakuan HTC. (A-C) <i>Hydrochar</i> hasil proses HTC pada suhu 180, 200, dan 220 °C selama 60 menit pada rasio <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS 50:50	27
15	Hubungan antara variasi perlakuan suhu, waktu pemanasan, konsentrasi <i>feedstock</i> , dan rasio terhadap rendemen <i>hydrochar</i> dari waktu reaksi yang berbeda. (A) Waktu 30 menit. (B) Waktu 60 menit. (C) Waktu 90 menit	28
16	Korelasi antara suhu, waktu reaksi, dan variasi rasio SAR:TKKS terhadap hasil pH cairan pada waktu reaksi yang berbeda. (A) Waktu 30 menit. (B) Waktu 60 menit. (C) Waktu 90 menit	30
17	Hasil kurva panjang gelombang maksimum 200-900 nm pada variasi rasio <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS	32
18	Hasil nilai absorbansi <i>hydrochar</i> pada rasio SAR:TKKS 50:50 dengan variasi suhu dan waktu 60 menit	33
19	Hasil nilai absorbansi <i>hydrochar</i> pada suhu 200 °C dan waktu 60 menit dengan variasi rasio SAR:TKKS	34
20	Mekanisme reaksi uji aktivitas antioksidan	34
21	Hasil uji aktivitas antioksidan pada <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS pada waktu reaksi yang berbeda. (A) Waktu 30 menit. (B) Waktu 60 menit. (C) Waktu 90 menit	35
22	Hasil analisis morfologi permukaan dari <i>hydrochar</i> <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS dengan berbagai rasio dan suhu pada perbesaran 100x. (A) Sampel <i>Sargassum</i> sp. sebelum HTC. (B) Sampel TKKS sebelum HTC. (C) 50:50 pada suhu 180 °C. (D) 100:0 pada suhu 200 °C. (E) 30:70 pada suhu 200 °C. (F) 50:50 pada suhu 200 °C. (G) 70:30 pada suhu 200 °C. (H) 0:100 pada suhu 200 °C. (I) 50:50 pada suhu 220 °C	37
23	Hasil analisis SEM dari <i>hydrochar</i> <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS dengan berbagai rasio dan suhu pada perbesaran 2500x dan 5000x. (A) Sampel <i>Sargassum</i> sp. sebelum HTC. (B) Sampel TKKS sebelum HTC. (C) 50:50 pada suhu 180 °C. (D) 100:0 pada suhu 200 °C. (E) 30:70 pada suhu 200 °C. (F) 50:50 pada suhu 200 °C. (G) 70:30 pada suhu 200 °C. (H) 0:100 pada suhu 200 °C. (I) 50:50 pada suhu 220 °C	38
24	Spektrum FTIR sampel <i>hydrochar</i> dari pemanasan <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS sebelum proses HTC	39

25	Spektrum FTIR sampel <i>hydrochar</i> dari pemanasan <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS rasio 50:50 dengan suhu 180, 200, dan 220 °C dan waktu 60 menit	40
26	Spektrum FTIR sampel <i>hydrochar</i> dari pemanasan <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS dengan variasi rasio dan suhu 200 °C serta waktu 60 menit	41
27	Beragam gugus fungsi yang terdapat pada permukaan <i>hydrochar</i>	41
28	Hasil analisis BET dari adsorpsi <i>surface</i> sampel bahan baku dan <i>hydrochar</i> . (A) Sampel <i>Sargassum</i> sp. sebelum HTC. (B) Sampel TKKS sebelum HTC. (C) 50:50 pada suhu 180 °C. (D) 100:0 pada suhu 200 °C	43
29	Hasil analisis BET dari adsorpsi <i>surface</i> sampel bahan baku dan <i>hydrochar</i> . (A) 30:70 pada suhu 200 °C. (B) 50:50 pada suhu 200 °C. (C) 70:30 pada suhu 200 °C. (D) 0:100 pada suhu 200 °C. (E) 50:50 pada suhu 220 °C	44
30	Korelasi kadar air terhadap kenaikan suhu dan waktu pada variasi rasio <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS pada waktu reaksi yang berbeda. (A) Waktu 30 menit. (B) Waktu 60 menit. (C) Waktu 90 menit	45
31	Korelasi kadar abu terhadap kenaikan suhu dan waktu pada variasi rasio <i>Sargassum</i> sp. dan TKKS pada waktu reaksi yang berbeda. (A) Waktu 30 menit. (B) Waktu 60 menit. (C) Waktu 90 menit	46

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Data berat sampel sebelum dan sesudah HTC	57
2	Lampiran 2 Perhitungan rendemen serta pengolahan data untuk penentuan pengaruh variasi rasio, suhu, waktu, dan konsentrasi <i>feedstock</i> terhadap rendemen <i>hydrochar</i>	59
3	Lampiran 3 Perhitungan penetapan kadar air dan kadar abu sampel <i>hydrochar</i>	64
4	Lampiran 4 Perhitungan uji indeks efektivitas De Garmo	74
5	Lampiran 5 Persyaratan mutu briket batubara (SIN 4931:2010)	77
6	Lampiran 6 Hasil pengukuran pH hidrolisat	78
7	Lampiran 7 Penentuan panjang gelombang maksimum	80
8	Lampiran 8 Hasil uji aktivitas antioksidan pada hidrolisat dengan metode DPPH	83
9	Lampiran 9 Data hasil FTIR pada sampe bahan baku dan <i>hydrochar</i>	88
10	Lampiran 10 Data hasil BET pada sampel bahan baku dan <i>hydrochar</i>	91
11	Lampiran 11 Data hasil TGA pada sampe bahan baku dan <i>hydrochar</i>	94
12	Lampiran 12 Dokumentasi kegiatan penelitian	97

DAFTAR SINGKATAN

BET	: <i>Brunauer-Emmett-Teller</i>
CHNSO	: Carbon (C), Hydrogen (H), Nitrogen (N), Sulfur (S), Oxygen (O)
DMRT	: Duncan's Multiple Range Test
DPPH	: (2,2- <i>diphenyl-1-picrylhydrazyl</i>)
DTG	: <i>Derivative Thermogravimetry</i>
EIA	: Energy Information Administration
FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared</i>
HHV	: <i>Higher Heating Value</i>
LTC	: <i>Hydrothermal Carbonization</i>
IEA	: International Energy Agency
oop	: <i>Out-of-plane</i>
pH	: <i>Potential of Hydrogen</i>
SAR	: <i>Sargassum sp.</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
TG	: Termogravimetri
TGA	: <i>Thermogravimetric Analysis</i>
TKKS	: Tandan Kosong Kelapa Sawit
UV-Vis	: <i>Ultraviolet-Visible Spectroscopy</i>

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.