

PERBAIKAN MUTU *CARBON BLACK* DARI *BIO-OIL* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN OPTIMASI SUHU *SLOW PYROLYSIS*

PUTRI MELIANA BR DAMANIK



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 “Perbaikan Mutu *Carbon Black* dari *Bio-Oil* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Optimasi Suhu *Slow Pyrolysis*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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, Mei 2025

Putri Meliana Br Damanik
G7401211035

- 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.

ABSTRAK

PUTRI MELIANA BR DAMANIK. Perbaikan Mutu *Carbon Black* dari *Bio-Oil* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Optimasi Suhu *Slow Pyrolysis*. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI dan RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

Carbon black merupakan material karbon fungsional yang dapat dihasilkan dari konversi *bio-oil* tandan kosong kelapa sawit (TKKS), namun karakteristiknya belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi ASTM D1765. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh proses *slow pyrolysis* terhadap struktur dan morfologi *carbon black* agar sesuai dengan klasifikasi standar. Hasil menunjukkan bahwa *slow pyrolysis* berhasil memperbaiki struktur dan morfologi *carbon black* dengan bentuk sferoidal serta struktur turbostratik yang ditunjukkan oleh rasio parameter kisi *c/a* sebesar 2,131 hingga 2,855. Berdasarkan karakterisasi PSA dan BET, diperoleh distribusi ukuran partikel terkecil sebesar 2 μm dan luas permukaan spesifik terbesar 35–45 m^2/g . Selain itu, analisis SEM-EDX dan FTIR menunjukkan kemurnian karbon yang tinggi. Seluruh sampel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi *carbon black grade* N990 hingga N550 (ASTM D1765).

Kata kunci: *carbon black, slow pyrolysis, suhu*

ABSTRACT

PUTRI MELIANA BR DAMANIK. *Quality Improvement of Carbon Black from Bio-Oil of Oil Palm Empty Fruit Bunches with Slow Pyrolysis Temperature Optimization*. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

*Carbon black is a functional carbon material that can be produced from the conversion of oil palm empty fruit bunch (TKKS) bio-oil, but its characteristics do not fully meet ASTM D1765 specifications. This study aims to evaluate the effect of slow pyrolysis process on the structure and morphology of carbon black to conform to the standard classification. The results showed that slow pyrolysis successfully improved the structure and morphology of carbon black with a spheroidal shape and turbostratic structure as indicated by the ratio of lattice parameter *c/a* of 2.131 to 2.855. Based on PSA and BET characterization, the smallest particle size distribution of 2 μm and the largest specific surface area of 35-45 m^2/g were obtained. In addition, SEM-EDX and FTIR analysis showed high carbon purity. All samples produced meet the specifications of carbon black grades N990 to N550 (ASTM D1765).*

Keywords: *carbon black, slow pyrolysis, temperature*



@Hak cipta milik IPB University

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.

PERBAIKAN MUTU *CARBON BLACK* DARI *BIO-OIL* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN OPTIMASI SUHU *SLOW PYROLYSIS*

PUTRI MELIANA BR DAMANIK

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
2025**



@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. Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si
2. Dr.rer.nat. Hendradi Hardhienata, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Perbaikan Mutu *Carbon Black* dari *Bio-Oil* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Optimasi Suhu *Slow Pyrolysis*

Nama : Putri Meliana Br Damanik

NIM : G7401211035

Disetujui Oleh

Pembimbing 1 :

Dr Yessie Widya Sari, S.Si., M. Si.
NIP. 19800414 201212 2 004



Pembimbing 2 :

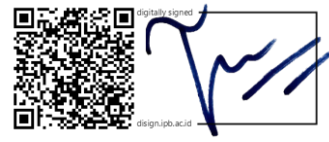
Raden Ibrahim Purawiardi, S.TP., M.Si.
NIP. 19870529 201401 1 001



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika :

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, S.Si., M.Si.
NIP. 19660907 199802 1 006



Tanggal Ujian: 15 Juli 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarkatuh

Puji dan penuh syukur dan kerendahan hati, penulis panjatkan uji dan terimakasih kepada *Allah subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “Perbaikan Mutu *Carbon Black* dari *Bio-Oil* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Optimasi Suhu *Slow Pyrolysis*” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Proses penulisan skripsi ini bukanlah sekadar menyusun kata demi kata atau menyelesaikan kewajiban akademik semata. Ada banyak pelajaran hidup yang tertanam di dalamnya. Di balik lembar-lembar tulisan ini, ada perjalanan panjang yang mengajarkan arti ketekunan, kesabaran, dan pentingnya dukungan dari orang-orang di sekitar.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. *Allah Subhanahu wa Ta'ala*
2. Orang tua dan keluarga tercinta, yang selalu menjadi sumber kekuatan dan semangat. Terima kasih atas doa yang tak henti, pelukan di tengah lelah, dan kepercayaan yang tak pernah goyah meskipun penulis sering meragukan diri sendiri.
3. Dosen pembimbing tercinta, Ibu Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah membimbing dengan sabar, memberikan arahan yang mendalam, dan tak pernah lelah menuntun penulis melewati proses ini, bahkan saat penulis sendiri merasa ragu.
4. Dosen pembimbing 2, Bapak Raden Ibrahim Purawiardi, S.TP., M.Si. yang telah membimbing penulis, membantu penulis saat penelitian, pengujian dan penulisan skripsi ini hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.
5. Bapak Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr.rer.nat. Hendradi Hardhienata, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji, atas koreksi dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Seluruh staf dan laboran di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong yang telah membantu dalam pengambilan data dan memberikan fasilitas selama proses penelitian.
7. Mohamad Ikbal Hidayah, selaku pasangan penulis yang sangat berarti dalam perjalanan akademik penulis. Dengan penuh kesabaran, ia telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan perhatian, bahkan di tengah kesibukan dan lelahnya sendiri. Dukungan moril maupun bantuan nyata yang ia berikan menjadi kekuatan besar bagi penulis untuk terus melangkah dan tidak menyerah di tengah berbagai tantangan yang penulis hadapi.
8. Member RAMENT, Ayu Lydia Nuraini, Novia Fransiska Simbolon, dan Renny Apriani Dwika Saputri, teman-teman seperjuangan, yang menjadi teman diskusi, teman menangis, tertawa, support system dan bertumbuh

bersama selama penulis berkuliah di Departemen Fisika IPB University. Dukungan kalian lebih berarti dari yang bisa diucapkan.

9. Tim *The Scientist Junior* yaitu Dea Syalwa Imelda, MelindaMaulidia Rahma, Nadya Nurul Fatika, Novia Fransiska Simbolon, dan Renny Apriani Dwika Saputri yang telah menemani penulis selama mengikuti kegiatan PKM bertahun-tahun dan senantiasa berjalan beriringan serta saling menyemangati satu sama lain.
10. Dea Maharani, Eliza Utari, Ferawati dan Sri Wahyuni Br Siregar sebagai sahabat-sahabat penulis yang sudah lama tidak bertemu namun masih bersilaturahmi dan selalu menyemangati penulis dari jauh.
11. Rekan-rekan seperjuangan dari Departemen Fisika IPB University Angkatan 58 yang selalu menjadi sumber semangat dan inspirasi selama proses perkuliahan.
12. Serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu tanpa mengurangi rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Semoga segala bentuk kebaikan, keikhlasan, serta bantuan yang telah diberikan mendapat balasan terbaik dari Allah SWT. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bogor, Mei 2025

Putri Meliana Br Damanik

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Carbon Black</i>	3
2.2 Biomassa Kelapa Sawit	4
2.3 Pirolisis	5
2.3.1 Pengertian Pirolisis	5
2.3.2 Tipe Pirolisis	6
2.4 <i>Bio-Oil</i>	7
2.5 Spektroskopi Raman	8
2.6 <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	9
2.7 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM EDX)	10
2.8 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	11
2.9 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	11
2.10 Brunauer, Emmet, dan Teller (BET)	12
III METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Bahan dan Alat	14
3.2.1 Bahan	14
3.2.2 Alat	14
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.3.1 Preparasi Sampel <i>Carbon Black</i>	15
3.3.2 Analisis Proksimat dan Ultimat	15
3.3.3 Karakterisasi <i>Carbon Black</i> Sebelum Proses <i>Slow Pyrolysis</i>	16
3.3.4 Proses <i>Slow Pyrolysis</i>	17
3.3.5 Karakterisasi <i>Carbon Black</i>	18
3.3.6 Analisis Data	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pengaruh Suhu Proses <i>Slow Pyrolysis</i> Rendemen <i>Carbon Black</i>	22
4.2 Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat	22
4.3 Hasil Analisis Spektroskopi Raman	24
4.4 Hasil Analisis <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	27



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.

4.5 Hasil Analisis Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	37
4.6 Hasil Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	41
4.7 Hasil Analisis <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	47
4.8 Hasil Analisis Brunauer, Emmet dan Teller (BET)	49
V SIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Simpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	83

DAFTAR TABEL

1	Sifat kimia <i>carbon black</i>	4
2	Klasifikasi <i>carbon black</i> berdasarkan ASTM D1765	4
3	Analisis proksimat dan ultimat <i>carbon black</i>	23
4	Letak pita D-Band dan G-Band pada <i>Raman shift</i> (cm ⁻¹)	26
5	Perhitungan <i>d-spacing</i> dan hkl	33
6	Rasio nilai paramater kisi dengan	35
7	Rasio C/O EDX sampel <i>carbon black</i>	40
8	Gugus fungsi sampel <i>carbon black</i> hasil proses <i>slow pyrolysis</i>	42
9	Nilai <i>bond energy</i> ikatan atom (Pierson 1993)	45
10	Distribusi ukuran partikel <i>carbon black</i>	48
11	Hasil uji BET <i>carbon black</i>	51
12	Deviasi perhitungan antara metode manual BET dan perangkat lunak <i>Quantachrome Novawin</i>	52

DAFTAR GAMBAR

1	a) Skema struktur <i>carbon black</i> , b) struktur rendah <i>carbon black</i> , c) struktur tinggi <i>carbon black</i> (Mather <i>et al.</i> 2019)	3
2	Kategori bentuk agregat dari <i>carbon black</i> (Herd <i>et al.</i> 1992)	3
3	Proses pirolisis (Zakaria <i>et al.</i> 2023)	6
4	Cara kerja spektroskopi raman (<i>steemit.com</i>)	9
5	<i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	10
6	Skema SEM (Haji <i>et al.</i> 2019)	10
7	Prinsip kerja <i>particle size analyzer</i> (Sumber: <i>andarupm.co.id</i>)	12
8	Skema <i>fast pyrolysis</i> dengan <i>rotary drum reactor</i>	14
9	<i>Flash combustion design method</i>	14
10	Diagram alir penelitian	15
11	Skema tahapan <i>slow pyrolysis</i>	17
12	Skematik gerakan relatif atom karbon sp ² dan dapat ditemukan dalam rantai (Ferrari dan Robetson 2000)	18
13	a) <i>Bio-oil</i> TKKS, b) <i>Carbon black</i> hasil proses <i>slow pyrolysis</i>	21
14	Grafik pengaruh suhu terhadap rendemen <i>carbon black</i>	22
15	Spektrum Raman <i>carbon black</i> sebelum <i>slow pyrolysis</i>	24
16	Spektrum Raman <i>carbon black</i> hasil <i>slow pyrolysis</i> sampel (a) 600 °C, (b) 700 °C, (c) 800 °C	25
17	Pengaruh suhu <i>slow pyrolysis</i> terhadap rasio grafitisasi	27
18	Citra TEM (a) bentuk <i>clustered</i> dan (b) bentuk <i>nanotube</i> sampel sebelum <i>slow pyrolysis</i> perbesaran 28000x	27
19	Citra TEM bentuk <i>layered</i> sampel sebelum <i>slow pyrolysis</i> perbesaran 92000x	28

20	Citra TEM (a,b,c) sampel hasil <i>slow pyrolysis</i> suhu 600 °C perbesaran 17500x	28
21	citra TEM (a,b) sampel hasil <i>slow pyrolysis</i> suhu 600 °C perbesaran 36000x	29
22	citra TEM sampel hasil <i>slow pyrolysis</i> suhu 700 °C (a) perbesaran 17500x, (b) perbesaran 36000x	29
23	citra TEM sampel hasil <i>slow pyrolysis</i> suhu 800 °C (a) perbesaran 17500x, (b) perbesaran 36000x	29
24	Skematik tingkat <i>clustering</i> partikel sampel berdasarkan pengaruh sp^3 (Ferrari dan Robetson 2000)	31
25	Pola difraksi (a) sampel dengan variasi suhu 600 °C, (b) sampel dengan variasi suhu 700 °C, (c) sampel dengan variasi suhu 800 °C	32
26	Grafik hubungan suhu terhadap parameter kisi <i>a</i>	34
27	Grafik hubungan suhu terhadap parameter kisi <i>c</i>	34
28	Grafik hubungan suhu terhadap rasio parameter kisi <i>c/a</i>	34
29	Skema kristal grafit dengan urutan susunan (a) ABAB, dan (b) ABCABCABC	35
30	Skematik dari <i>imperfections</i> kristalit pada grafitik yang menunjukkan <i>stacking fault</i> (Pierson 1993)	36
31	Skematik pergeseran lapisan grafena (<i>disorder</i>) karbon turbostratik (Pierson 1993)	36
32	Ilustrasi struktur grafitik berdasarkan pengukuran parameter kisi TEM sampel variasi suhu a) 600 °C, b) 700 °C, dan c) 800 °C	37
33	SEM perbesaran 20000X SED <i>carbon black</i> sebelum <i>slow pyrolysis</i>	38
34	SEM perbesaran 20000X SED <i>carbon black</i> variasi (a) suhu 600 °C, (b) suhu 700 °C dan (c) suhu 800 °C	38
35	Hasil EDX <i>carbon black</i> sebelum <i>slow pyrolysis</i>	39
36	Hasil EDX <i>carbon black</i> variasi a) suhu 600 °C, b) suhu 700 °C, dan c) suhu 800 °C	39
37	Spektrum FTIR <i>carbon black</i> dengan variasi suhu 600 °C	41
38	Spektrum FTIR <i>carbon black</i> dengan variasi suhu 700 °C	42
39	Spektrum FTIR <i>carbon black</i> dengan variasi suhu 800 °C	42
40	Prediksi struktur aromatik tubostratik sampel <i>carbon black</i> variasi suhu a) 600 °C, b) 700 °C, dan c) 800 °C	44
41	Proses pemutusan ikatan (<i>disosiasi</i>) pada struktur selulosa	45
42	Prediksi hibridisasi selulosa	46
43	Rantai karbon selulosa hasil proses <i>slow pyrolysis</i>	46
44	Distribusi ukuran partikel <i>carbon black</i> sebelum <i>slow pyrolysis</i>	47
45	Distribusi ukuran partikel <i>carbon black</i> variasi a) suhu 600 °C, b) suhu 700 °C, dan c) suhu 800 °C	48
46	Distribusi ukuran partikel sampel <i>carbon black</i>	48
47	Hasil BET <i>carbon black</i> menggunakan perangkat lunak <i>Quantachrome NovaWin</i>	50



DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil perhitungan nilai rendemen <i>carbon black</i>	60
2	Hasil uji Spektrokopi Raman	61
3	Perhitungan <i>d-spacing</i> dan parameter kisi	63
4	<i>Imaging</i> ukuran partikel citra TEM	72
5	Hasil uji SEM EDX	77
6	Hasil Uji Brunauer, Emmet dan Teller (BET)	79

- 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.