



PEMANFAATAN LIMBAH METALLURGICAL COAL SEBAGAI KOAGULAN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR *LAUNDRY*

NAUFAL LUTHFI AHYA



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



©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 mengulik 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 USULAN PENELITIAN DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemanfaatan Limbah *Metallurgical Coal* Sebagai Koagulan untuk Pengolahan Limbah Cair Laundry” adalah benar 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 usulan penelitian ini.

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

Bogor, Juli 2025

Naufal Luthfi Ahya
NIM G7401211045

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



ABSTRAK

NAUFAL LUTHFI AHYA. Pemanfaatan Limbah *Metallurgical Coal* Sebagai Koagulan untuk Pengolahan Limbah Cair *Laundry*. Dibimbing oleh SITI NIKMATIN dan IRMANSYAH.

Kandungan Al dalam limbah *metallurgical coal* diolah untuk memanfaatkan limbah *metallurgical coal (rejected coal)* sebagai bahan dasar pembuatan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dalam pengolahan limbah cair *laundry*. Pembuatan koagulan dilakukan dengan metode ekstraksi padat-cair menggunakan pelarut H_2SO_4 konsentrasi 3%, 4%, dan 5% pada suhu 95°C selama 1 jam, serta variasi ukuran partikel *rejected coal* yang berukuran 100, 200, dan 400 mesh. Karakteristik koagulan menunjukkan sifat asam pH 4,6–5,0, memiliki viskositas tinggi (9,74–13,85 poise), dan nilai zeta potensial koagulan $-1,2 \text{ mV}$ yang mengindikasikan kecenderungan untuk beragregasi. Analisis sudut kontak serta energi bebas permukaan menunjukkan sifat hidrofobik, yang mendukung kemampuan penyerapan terhadap polutan non-polar. Uji efektivitas koagulan pada limbah *laundry* menunjukkan efisiensi tinggi terhadap penurunan TSS lebih dari 80% pada semua sampel, penurunan pH yang tetap dalam batas baku mutu pada sampel dengan konsentrasi H_2SO_4 3% dan 4%, nilai TDS yang masih sesuai dengan batu muku pada sampel A31, A32, dan A34, serta penurunan COD yang masih melebihi nilai baku mutu, tetapi terjadi penurunan nilai COD sebesar $\geq 50\%$ pada semua sampel.

Kata kunci: koagulan, *rejected coal*, koagulasi, limbah cair *laundry*, H_2SO_4

ABSTRACT

NAUFAL LUTHFI AHYA. *Utilization of Metallurgical Coal Waste as a Coagulant for Laundry Wastewater Treatment*. Supervised by SITI NIKMATIN and IRMANSYAH.

The Al content in metallurgical coal waste is processed to utilize metallurgical coal waste (*rejected coal*) as a raw material for the production of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ coagulants in laundry wastewater treatment. The coagulant is produced using a solid-liquid extraction method with 3%, 4%, and 5% H_2SO_4 solvent at 95°C for 1 hour, and varying particle sizes of rejected coal measuring 100, 200, and 400 mesh. The coagulant characteristics showed an acidic pH of 4.6–5.0, high viscosity (9.74–13.85 poise), and a zeta potential value of -1.2 mV , indicating a tendency to aggregate. Contact angle and surface free energy analysis showed hydrophobic properties, which support the ability to absorb non-polar pollutants. The coagulant effectiveness test on laundry wastewater showed high efficiency in reducing TSS by more than 80% in all samples, a pH reduction that remained within the quality standards in samples with H_2SO_4 concentrations of 3% and 4%, TDS values that were still in accordance with the quality standard in samples A31, A32, and A34, and a COD reduction that still exceeded the quality standard, but there was a COD reduction of $\geq 50\%$ in all samples.

Keywords: coagulant, *rejected coal*, coagulation, laundry wastewater, H_2SO_4



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 mengugikan 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



**PEMANFAATAN LIMBAH METALLURGICAL COAL SEBAGAI
KOAGULAN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
*LAUNDRY***

**NAUFAL LUTHFI AHYA
G7401211045**

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**



Tim Penguji pada Ujian Skripsi

1. Drs. Mahfuddin Zuhri, M.Si.
2. Dr. Yessie Widya Sari, M.Si.

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 mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

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



Judul Usulan Penelitian : Pemanfaatan Limbah *Metallurgical Coal* Sebagai Koagulan untuk Pengolahan Limbah Cair *Laundry*
Nama : Naufal Luthfi Ahya
NIM : G7401211045

Disetujui oleh

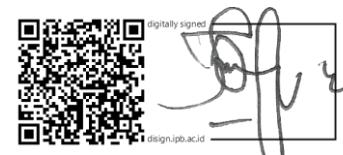
Pembimbing 1:

Dr. Siti Nikmatin, S.Si, M.Si.
NIP. 197508192000122001



Pembimbing 2:

Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya
Puspita, M.Si.
NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian : 4 November 2025

Tanggal Lulus :

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

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penelitian dengan judul “ Pemanfaatan Limbah *Metallurgical Coal* Sebagai Koagulan untuk Pengolahan Limbah Cair *Laundry*” berhasil diselesaikan. Penulisan Skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapan kepada :

1. Bapak Dali Ahya dan Ibu Herlina Tismarina selaku orang tua penulis yang telah memberikan banyak motivasi, doa, kasih sayang dan segala hal sejak awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Ibu Dr. Siti Nikmatin, S.Si., M.Si. selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Ir. Irmansyah, M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah mendampingi, memberi saran serta arahan kepada penulis hingga penelitian ini selesai. Bapak Drs. Mahfuddin Zuhri, M.Si. sebagai penguji pertama dan Ibu Dr. Yessie Widya Sari, M.Si. sebagai penguji kedua yang telah memberikan saran dan masukan.
3. Adik penulis (Naudya Luthfiani Tismarina) yang sudah memberikan doa, semangat, motivasi, dan segala bentuk dukungannya kepada penulis.
4. Teman-teman fisika 58, Anak-anak purna OSIS (Ari, Wahyu, Dhanny, Agung, Atha, Yuda, Bayu, Wyliam, Pande, dan Ariiq) yang telah membantu, memberikan perhatian, dorongan dan motivasi sejak masuk departemen fisika.
5. Grup asoy (Khalisha, Nadhief, Robbi, dan Zhafirah) yang telah membantu, memberikan perhatian, dorongan dan motivasi yang menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis.
6. Kelompok KKNT IPB Desa Ketileng 2024 (Dewanta, Dzaky, Alfi, Dinda, Rena, Widiya, dan Caca) yang telah membantu, memberikan semangat, dorongan, motivasi, dan menyempatkan hadir seusai kegiatan seminar dan siding tugas akhir penulis.
7. Bapak laboran Lab Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil (Pak Arif) dan Lingkungan IPB, kakak-kakak laboran Lab PT Interstisi Material Maju (Kak Umi) serta seluruh civitas akademika Fisika IPB yang selalu membantu proses dan administrasi dalam penelitian ini.
8. Tidak lupa berterimakasih pada diri saya sendiri yang sudah berjuang dari perkuliahan hingga penulisan karya ilmiah ini selesai dan selalu bersyukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, rejeki, kemudahan, dan kelancaran selama ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat dilaksanakan sesuai dengan yang diharapkan dan memberikan hasil penelitian yang bermanfaat.

Bogor, Juli 2025

Naufal Luthfi Ahya



	DAFTAR ISI	xii
DAFTAR ISI	xiii	
DAFTAR TABEL	xiii	
DAFTAR GAMBAR	xiii	
DAFTAR LAMPIRAN	xiv	
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 Batubara	3	
2.2 <i>Metallurgical Coal</i>	4	
2.3 Koagulan	4	
2.4 Koagulasi dan Flokulasi	5	
2.4.1 Koagulasi	5	
2.4.2 Flokulasi	5	
2.5 Energi Bebas Permukaan (<i>Surface Free Energy</i>)	6	
2.6 Fraksinasi Pengotor pada Limbah Cair <i>Laundry</i>	7	
III METODE	9	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	9	
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	9	
3.2.1 Alat Penelitian	9	
3.2.2 Bahan Penelitian	9	
3.3 Prosedur Kerja	9	
3.3.1 Karakterisasi Fisika - Kimia	9	
3.3.2 Preparasi <i>Rejected Coal</i>	11	
3.3.3 Proses Kalsinasi	12	
3.3.4 Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄	12	
3.3.5 Pembuatan Koagulan	12	
3.3.6 Proses Koagulasi	13	
3.3.7 Proses Fraksinasi Pengotor Dengan <i>Centrifuge</i>	13	
3.4 Pengujian Sampel	14	
3.4.1 Pengujian pH	14	
3.4.2 Pengujian TSS	14	
3.4.3 Pengujian COD	14	

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a.

b.

c.

d.

e.

f.

g.

h.

i.

j.

k.

l.

m.

n.

o.

p.

q.

r.

s.

t.

u.

v.

w.

x.

y.

z.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

3.4.4 Pengujian TDS	15
IV Hasil dan pembahasan	16
4.1 Analisis Sifat Fisis dan Kimia <i>Rejected Coal</i>	16
4.1.1 Analisis morfologi menggunakan SEM-EDS	16
4.1.2 Analisis fase <i>rejected coal</i> menggunakan XRD	17
4.1.3 Analisis proksimat dan ultimatum <i>Rejected coal</i>	18
4.1.4 Analisis Sudut Kontak dan <i>Surface Free Energy</i>	19
4.2 Karakteristik Koagulan <i>Rejected Coal</i>	21
4.3 Analisis Nilai Zeta Potensial Koagulan <i>Rejected Coal</i>	23
4.4 Analisis Kandungan Sulfat dan Al dalam Koagulan	25
4.4.1 Analisis kandungan sulfat dalam koagulan	25
4.4.2 Analisis kandungan Al koagulan	26
4.5 Analisis Koagulan <i>Rejected Coal</i> Terhadap Limbah Cair Laundry	27
V Simpulan dan saran	30
5.1 Simpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	37
RIWAYAT HIDUP	65

DAFTAR TABEL

1 Klasifikasi kelas batubara berdasarkan ASTM	3
2 Komposisi kimia <i>rejected coal</i>	4
3 Energi permukaan cairan uji dan komponennya (mJ/m^2)	7
4 Variasi konsentrasi larutan H_2SO_4 dalam koagulan	13
5 Komposisi proksimat dan ultimatum <i>rejected coal</i>	19
6 Sudut kontak bahan baku <i>rejected coal</i>	20
7 <i>Surface Free Energy</i> bahan baku	20
8 Karakteristik pH dan viskositas koagulan <i>rejected coal</i>	21
9 Analisis Kandungan Sulfat dalam Koagulan	25
10 Analisis Kandungan Al dalam Koagulan	26
11 Analisis pH, TSS, TDS, dan COD limbah cair laundry setelah koagulasi	27

DAFTAR GAMBAR

1 Mekanisme Proses Koagulasi dan Flokulasi	5
2 Proses Pengumpulan Partikel	6
3 (a) perbesaran permukaan 500 μm (b) perbesaran permukaan 100 μm	16
4 Pemetaan unsur <i>rejected coal</i> pada ukuran 400 μm	17





5 Grafik difraksi XRD <i>rejected coal</i>	17
6 Sudut kontak cairan uji air limbah <i>laundry</i> RC ₁₀₀ (a), RC ₂₀₀ (b), RC ₄₀₀ (c)	19
7 Sudut kontak cairan uji FFA, RC ₁₀₀ (a), RC ₂₀₀ (b), RC ₄₀₀ (c)	19
8 Grafik hubungan konsentrasi H ₂ SO ₄ , ukuran partikel, dan viskositas koagulan	23
9 Analisis <i>particle size analyzer</i> sampel koagulan A32	24
10 Grafik kadar sulfat koagulan <i>rejected coal</i>	25

DAFTAR LAMPIRAN

Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	38
Jadwal Penelitian	39
Perhitungan Nilai Pengenceran Konsentrasi H ₂ SO ₄	40
Data Sudut Kontak	41
Pembuatan Koagulan <i>Rejected Coal</i>	42
Pengujian Karakteristik Koagulan <i>Rejected Coal</i>	43
Perhitungan viskometer bola jatuh pada koagulan <i>rejected coal</i>	44
Pengujian pH, TSS, TDS, dan COD pada limbah cair <i>laundry</i>	46
Data pH limbah cair <i>laundry</i> tiga kali pengulangan	48
Data TDS limbah cair <i>laundry</i> tiga kali pengulangan	48
Perhitungan nilai TSS limbah cair <i>laundry</i> tiga kali pengulangan	49
Data TSS limbah cair <i>laundry</i> tiga kali pengulangan	52
Perhitungan Nilai COD limbah cair laundry tiga kali pengulangan	53
Data COD limbah cair laundry dua kali pengulangan	57
Pengujian Kandungan Sulfat dalam koagulan <i>rejected coal</i> dengan spektrofotometer UV-Vis	57
Perhitungan kandungan sulfat dalam koagulan <i>rejected coal</i>	58
Perhitungan kandungan Al dalam koagulan <i>rejected coal</i> A32	60
Standar baku mutu nilai pH, TSS, dan COD pada air limbah	62
Standar baku mutu nilai TDS pada air limbah	63
Standar batu muku kandungan sulfat dalam media air	64

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 mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

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