

EFEKTIVITAS ARANG AKTIF AMPAS KOPI DALAM MITIGASI PAPARAN TIMBAL SUBKRONIS PADA IKAN BAWAL (*Colossoma macropomum*)

MUHAMAD RENALDY KIAT



**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- 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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Efektivitas arang aktif ampas kopi dalam mitigasi paparan timbal subkronis pada ikan bawal (*Colossoma macropomum*)” 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 tesis ini.

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

Bogor, Juli 2026

Muhamad Renaldy Kiat
C1501222056



RINGKASAN

MUHAMAD RENALDY KIAT. Efektivitas arang aktif ampas kopi dalam mitigasi paparan timbal subkronis pada ikan bawal (*Colossoma macropomum*). Dibimbing oleh KUKUH NIRMALA, EDDY SUPRIYONO, WIDANARNI.

Timbal (Pb) merupakan logam berat toksik yang dapat mencemari media budidaya, mengganggu kesehatan ikan, dan terakumulasi pada jaringan ikan konsumsi. Paparan Pb pada ikan dapat menurunkan fungsi respirasi, mengganggu keseimbangan fisiologis, menekan pertumbuhan, serta merusak jaringan insang dan hati. Upaya mitigasi Pb pada sistem budidaya perlu dilakukan dengan metode yang sederhana, efektif, dan dapat diterapkan langsung pada media pemeliharaan. Ampas kopi berpotensi digunakan sebagai bahan baku arang aktif karena mengandung senyawa lignoselulosa dan memiliki struktur karbon yang dapat dikembangkan menjadi adsorben logam berat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas arang aktif ampas kopi atau *coffee-ground activated carbon* (CGAC) dalam menurunkan bioavailabilitas Pb dan mengurangi dampak toksiknya pada ikan bawal (*Colossoma macropomum*) selama paparan subkronis.

Penelitian terdiri atas uji toksisitas akut Pb sebagai dasar penentuan konsentrasi subkronis dan uji subkronis dengan penambahan CGAC selama 30 hari. Uji toksisitas akut dilakukan pada juvenil ikan bawal melalui uji kisaran 0 sampai 150 mg L⁻¹ selama 48 jam dan uji definitif 0, 50, 65, 80, dan 95 mg L⁻¹ selama 96 jam. Nilai LC₅₀₋₉₆ jam Pb sebesar 73 mg L⁻¹ dan digunakan sebagai dasar penetapan konsentrasi Pb subkronis 10% sebesar 7,3 mg L⁻¹. Selama uji akut, frekuensi gerak operkulum meningkat pada awal paparan dari 83 ± 1,25 menjadi 129 ± 1,53 kali menit⁻¹, kemudian menurun pada paparan lanjut di konsentrasi Pb tinggi. Gejala klinis berkembang seiring peningkatan konsentrasi dan waktu paparan, terutama berupa gangguan ventilasi, renang tidak teratur, kehilangan keseimbangan, letargi, dan mortalitas pada konsentrasi Pb tinggi.

Uji subkronis disusun menggunakan rancangan acak lengkap dengan lima perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan terdiri atas kontrol negatif tanpa Pb dan tanpa CGAC (K-), kontrol positif dengan Pb tanpa CGAC (K+), serta perlakuan Pb dengan penambahan CGAC pada dosis 1,5; 2,5; dan 3,5 g L⁻¹. Ikan dipelihara selama 30 hari dalam akuarium dengan volume air kerja 50 L dan kepadatan 20 ekor per akuarium. Parameter yang diamati meliputi kelangsungan hidup, pertumbuhan, kualitas air, Pb terlarut, akumulasi Pb pada daging, faktor biokonsentrasi, efisiensi penghilangan Pb, respons hematologi, glukosa darah, serta histopatologi insang dan hati.

Arang aktif ampas kopi yang dihasilkan memiliki rendemen 50%, kadar air 5,35%, dan kadar abu 1,90%. Nilai kadar air dan kadar abu tersebut berada di bawah batas maksimum mutu arang aktif teknis, sehingga CGAC layak digunakan sebagai adsorben dalam media budidaya. Pada uji subkronis, paparan Pb tanpa adsorben menurunkan kondisi biologis ikan. Perlakuan K+ menghasilkan kelangsungan hidup sebesar 85%, pertambahan bobot mutlak sebesar 7,24 g, dan laju pertumbuhan spesifik pada kisaran 2,11 sampai 1,75% hari⁻¹. Selain itu, Pb terlarut pada media K+ mencapai 2,85 mg L⁻¹ pada akhir pemeliharaan, sedangkan akumulasi Pb pada daging mencapai 6,92 mg kg⁻¹.

Penambahan CGAC mampu menurunkan Pb terlarut dan menekan akumulasi Pb pada daging ikan. Pada perlakuan CGAC, Pb terlarut pada akhir pemeliharaan berada pada kisaran 0,07 sampai 0,21 mg L⁻¹, sedangkan Pb pada daging berada pada kisaran 3,36 sampai 5,41 mg kg⁻¹. Efisiensi penghilangan Pb mencapai 96,61 sampai 98,85%. Penurunan Pb terlarut menunjukkan bahwa CGAC mampu mengurangi fraksi Pb yang tersedia di media pemeliharaan. Penurunan bioavailabilitas Pb tersebut berperan dalam memperbaiki kelangsungan hidup, pertumbuhan, respons hematologi, kadar glukosa darah, serta kondisi jaringan insang dan hati dibandingkan dengan perlakuan Pb tanpa adsorben.

Paparan Pb tanpa CGAC menyebabkan gangguan fisiologis yang ditunjukkan oleh penurunan hemoglobin dan hematokrit, peningkatan leukosit, perubahan rasio neutrofil/limfosit, serta perubahan glukosa darah. Kerusakan jaringan juga lebih jelas pada perlakuan K⁺, terutama pada insang dan hati. Insang menunjukkan lesi berupa edema, pengangkatan epitel, hiperplasia, fusi lamela, kongesti, pemendekan lamela sekunder, dan nekrosis. Hati menunjukkan perubahan berupa hemoragi, degenerasi inti, ruptur inti, ruptur sel, kongesti sinusoid, infiltrasi eritrosit, vakuolisasi, dan nekrosis. Penambahan CGAC menurunkan tingkat kerusakan jaringan secara bertahap, terutama pada dosis 2,5 dan 3,5 g L⁻¹.

Dosis CGAC 2,5 sampai 3,5 g L⁻¹ memberikan respons biologis terbaik. Perlakuan AK 3,5 menghasilkan kondisi ikan yang paling mendekati kontrol negatif (K⁻), terutama berdasarkan kelangsungan hidup, pertumbuhan, penurunan Pb terlarut, penekanan akumulasi Pb pada daging, serta perbaikan kondisi fisiologis dan histopatologis. Temuan ini menunjukkan bahwa CGAC berpotensi digunakan sebagai adsorben *in-tank* untuk menekan bioavailabilitas Pb dan mengurangi dampak toksik Pb pada budidaya ikan air tawar. Penerapan CGAC dapat menjadi pendekatan mitigasi sederhana berbasis limbah organik untuk mendukung pengelolaan kualitas air dan keamanan ikan konsumsi pada sistem akuakultur.

Kata kunci: arang aktif ampas kopi, ikan bawal, timbal, toksisitas akut, toksisitas subkronis



SUMMARY

MUHAMAD RENALDY KIAT. Effectiveness of spent *coffee-ground activated carbon* in mitigating sub-chronic lead exposure in pacu (*Colossoma macropomum*). Supervised by KUKUH NIRMALA, EDDY SUPRIYONO, WIDANARNI.

Lead (Pb) is a toxic heavy metal that can contaminate aquaculture water, impair fish health, and accumulate in edible fish tissues. Pb exposure in fish can disrupt respiratory function, alter physiological balance, reduce growth, and damage gill and liver tissues. Pb mitigation in aquaculture systems requires a simple, effective, and applicable method that can be used directly in rearing water. Spent coffee grounds have potential as a raw material for activated carbon because they contain lignocellulosic compounds and can develop carbon structures suitable for heavy metal adsorption. This study aimed to evaluate the effectiveness of *coffee-ground activated carbon* (CGAC) in reducing Pb bioavailability and mitigating its toxic effects in pacu (*Colossoma macropomum*) during sub-chronic exposure.

The study consisted of an acute Pb toxicity test to determine the subchronic exposure concentration, followed by a 30-day subchronic test with CGAC application. The acute toxicity test was conducted on juvenile pacu using a range-finding test at 0 to 150 mg L⁻¹ for 48 h and a definitive test at 0, 50, 65, 80, and 95 mg L⁻¹ for 96 h. The 96-h LC₅₀ of Pb was 73 mg L⁻¹ and was used to establish the subchronic Pb concentration of 7.3 mg L⁻¹. During the acute test, opercular movement frequency initially increased from 83 ± 1.25 to 129 ± 1.53 beats min⁻¹, then declined during prolonged exposure at high Pb concentrations. Clinical signs progressed with increasing Pb concentration and exposure time, mainly including ventilatory disturbance, erratic swimming, loss of equilibrium, lethargy, and mortality at high Pb concentrations.

The sub-chronic test was arranged in a completely randomized design with five treatments and three replications. The treatments consisted of a negative control without Pb and CGAC (K⁻), a positive control with Pb but without CGAC (K⁺), and Pb exposure with CGAC addition at 1.5, 2.5, and 3.5 g L⁻¹. Fish were reared for 30 days in aquaria with a working water volume of 50 L and a density of 20 fish per aquarium. The observed parameters included survival, growth, water quality, dissolved Pb, Pb accumulation in muscle, *bioconcentration factor*, Pb removal efficiency, hematological responses, blood glucose, and gill and liver histopathology.

The produced CGAC had a yield of 50%, moisture content of 5.35%, and ash content of 1.90%. The moisture and ash contents were below the maximum limits for technical activated carbon quality, indicating that CGAC was suitable for use as an adsorbent in aquaculture water. In the sub-chronic test, Pb exposure without adsorbent reduced fish biological performance. The K⁺ treatment resulted in 85% survival, 7.24 g absolute weight gain, and a specific growth rate ranging from 2.11 to 1.75% day⁻¹. Dissolved Pb in the K⁺ treatment reached 2.85 mg L⁻¹ at the end of rearing, while Pb accumulation in fish muscle reached 6.92 mg kg⁻¹.

CGAC addition reduced dissolved Pb and suppressed Pb accumulation in fish muscle. In the CGAC treatments, dissolved Pb at the end of rearing ranged from 0.07 to 0.21 mg L⁻¹, while Pb in fish muscle ranged from 3.36 to 5.41 mg kg⁻¹. Pb removal efficiency reached 96.61 to 98.85%. The decrease in dissolved Pb

indicated that CGAC reduced the available Pb fraction in the rearing water. This reduction in Pb bioavailability contributed to improved survival, growth, hematological responses, blood glucose condition, and gill and liver tissue structure compared with Pb exposure without adsorbent.

Pb exposure without CGAC caused physiological disturbance, as indicated by lower hemoglobin and hematocrit values, increased leukocyte counts, altered neutrophil/lymphocyte ratio, and changes in blood glucose. Tissue damage was also more evident in the K^+ treatment, particularly in the gills and liver. Gill lesions included edema, epithelial lifting, hyperplasia, lamellar fusion, congestion, shortening of secondary lamellae, and necrosis. Liver alterations included hemorrhage, nuclear degeneration, nuclear rupture, cell rupture, sinusoidal congestion, erythrocyte infiltration, vacuolization, and necrosis. CGAC addition gradually reduced tissue damage, especially at doses of 2.5 and 3.5 g L^{-1} .

CGAC doses of 2.5 to 3.5 g L^{-1} produced the best biological responses. The AK 3.5 treatment resulted in fish conditions closest to the negative control (K^-), particularly in terms of survival, growth, dissolved Pb reduction, suppression of Pb accumulation in muscle, and improvement of physiological and histopathological conditions. These findings indicate that CGAC has potential as an *in-tank* adsorbent to reduce Pb bioavailability and mitigate Pb toxicity in freshwater aquaculture. The application of CGAC may provide a simple organic waste-based mitigation approach to support water quality management and food fish safety in aquaculture systems.

Keywords: *acute toxicity, coffee-ground activated carbon, lead, pacu, subchronic toxicity*



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 2026
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.





EFEKTIVITAS ARANG AKTIF AMPAS KOPI DALAM MITIGASI PAPARAN TIMBAL SUBKRONIS PADA IKAN BAWAL (*Colossoma macropomum*)

MUHAMAD RENALDY KIAT

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Akuakultur

**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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 Tesis:

- 1 Dr. Ir. Mia Setiawati, M.Si.**
- 2 Prof. Dr. Julie Ekasari, S.Pi., M.Sc.**



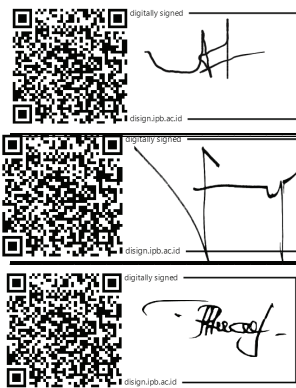
Judul Tesis : Efektivitas arang aktif ampas kopi dalam mitigasi paparan timbal subkronis pada ikan bawal (*Colossoma macropomum*)
Nama : Muhamad Renaldy Kiat
NIM : C1501222056

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Kukuh Nirmala, M.Sc.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Eddy Supriyono, M.Sc.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si.
NIP. 196709271994032001

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan :
Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M.Si.
NIP. 198001182005011003



Tanggal Ujian:
Kamis, 16 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala, atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Efektivitas arang aktif ampas kopi dalam mitigasi paparan timbal subkronis pada ikan bawal (*Colossoma macropomum*)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Kukuh Nirmala, M.Sc. selaku ketua komisi pembimbing, serta Prof. Dr. Eddy Supriyono, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si. selaku anggota komisi pembimbing atas segala bimbingan, saran, dukungan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada moderator seminar dan penguji luar komisi pembimbing atas masukan dan arahan yang diberikan dalam penyempurnaan tesis ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, serta seluruh teknisi dan staf laboratorium yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas fasilitas, bantuan teknis, dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini. Ungkapan terima kasih dan rasa sayang penulis sampaikan kepada ayahanda Ismael Kiat dan almarhumah ibunda tercinta Sapia Rehalat, serta seluruh keluarga atas doa, kasih sayang, dukungan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan seperjuangan SoSa, yaitu Antoni Harahap, Winda, Ahmad Albar, Muhammad Ihya Zaini, Tanazia Adnesifa, Adiansyah Febri Noegroho, Afifah Dentalisarni, Rubi Jalu, Rahmad Hendro Susilo, Fajri Maulana Utama, serta rekan-rekan AKU atas kebersamaan, bantuan, dukungan, dan semangat selama proses perkuliahan, penelitian, hingga penyusunan tesis ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Muhamad Renaldy Kiat



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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat	4
2.2 Prosedur Penelitian	4
2.3 Parameter Penelitian	7
2.4 Analisis data	12
III HASIL DAN PEMBAHASAN	13
3.1 Hasil	13
3.2 Pembahasan	25
IV SIMPULAN DAN SARAN	32
4.1 Simpulan	32
4.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
RIWAYAT HIDUP	39



DAFTAR TABEL

1	Rancangan perlakuan uji kisaran Pb pada juvenil ikan bawal	5
2	Rancangan perlakuan uji toksisitas akut Pb pada juvenil ikan bawal	6
3	Standar baku mutu arang aktif	6
4	Rancangan penelitian efektivitas arang aktif ampas kopi dalam mitigasi Pb subkronis pada ikan bawal	7
5	Konversi persentase mortalitas ke probit (Finney 1971)	8
6	Profil kualitas air fisik dan kimia	11
7	Mortalitas kumulatif (%) juvenil ikan bawal selama uji kisaran Pb 48 jam	13
8	Tanda klinis juvenil ikan bawal selama paparan akut Pb 96 jam	15
9	Profil kualitas air selama uji kisaran 48 jam dan uji toksisitas akut definitif Pb 96 jam	16
10	Hasil uji karakterisasi <i>coffee-ground activated carbon</i> (CGAC)	17
11	Profil kualitas air selama uji subkronis Pb dengan penambahan CGAC pada ikan bawal air tawar	20

DAFTAR GAMBAR

1	Mortalitas kumulatif (%) juvenil ikan bawal selama uji toksisitas akut definitif Pb 96 jam	13
2	Frekuensi gerak operkulum juvenil ikan bawal selama paparan akut Pb 96 jam	14
3	Nilai LC ₅₀ Pb berdasarkan waktu paparan pada juvenil ikan bawal	16
4	Hubungan log konsentrasi Pb dan probit mortalitas juvenil ikan bawal	16
5	Kelangsungan hidup ikan bawal air tawar selama 30 hari pemeliharaan pada uji subkronis dan penambahan CGAC	17
6	Pertambahan bobot mutlak (a) dan laju pertumbuhan spesifik (b) ikan bawal selama 30 hari pemeliharaan pada perlakuan Pb dan CGAC	18
7	Konsentrasi Pb dan <i>bioconcentration factor</i> (BCF), selama 30 hari pemeliharaan ikan bawal pada perlakuan Pb dan penambahan CGAC, meliputi konsentrasi Pb terlarut pada media (a), konsentrasi Pb pada daging ikan (b), BCF (c), jumlah Pb yang teradsorpsi (d)	19
8	Kinerja adsorpsi <i>coffee-ground activated carbon</i> (CGAC) terhadap Pb selama uji subkronis, meliputi efisiensi adsorpsi (a), dan kapasitas adsorpsi q (b)	20
9	Eritrosit (a), leukosit (b), hemoglobin (c), hematokrit (d), rasio neutrofil/limfosit (e), juvenil ikan bawal selama 30 hari pemeliharaan pada perlakuan Pb dan CGAC	22
10	Profil glukosa darah ikan bawal selama 30 hari pemeliharaan pada perlakuan Pb dan CGAC	23
11	Histopatologi insang ikan bawal pada akhir uji subkronis Pb dengan penambahan CGAC	24
12	Histopatologi hati ikan bawal pada akhir uji subkronis Pb dengan penambahan CGAC	25