SINTESIS METAKAOLIN SULFONAT DAN APLIKASINYA UNTUK ADSORPSI WARNA AIR OLAHAN PDAM PONTIANAK

MEIDIANA PRATIWI
NIM H1031201040

SKRIPSI

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
2025

SINTESIS METAKAOLIN SULFONAT DAN APLIKASINYA UNTUK ADSORPSI WARNA AIR OLAHAN PDAM PONTIANAK

MEIDIANA PRATIWI
NIM H1031201040

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Kimia

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Sintesis Metakaolin Sulfonat dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Warna Air Olahan PDAM Pontianak
Nama Mahasiswa	: Meidiana Pratiwi
NIM	: H1031201040
Jurusan/Program Studi	: Kimia
Tanggal Lulus	: 21 Januari 2025
SK Pembimbing	: No. 3534/UN22.8/TD.06/7 November 2024
SK Penguji	: No. 5670/UN22.8/TD.06/31 Desember 2024

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Prof. Dr. H. Thamrin Usman, DEA
NIP 196211101988111001

Pembimbing II

Dr. Nelly Wahyuni, S.Si., M.Si
NIP 197506022000032001

Dosen Penguji

Ketua Penguji

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si, M.Si
NIP 197108022000031001

Anggota Penguji

Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si, M.Si
NIP 197109202000121001

Pimpinan Sidang
(merekap anggota penguji)

Prof. Dr. H. Thamrin Usman, DEA
NIP 196211101988111001

Sekretaris Sidang
(merekap anggota penguji)

Dr. Nelly Wahyuni, S.Si, M.Si
NIP 197506022000032001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si, M.Si
NIP 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Meidiana Pratiwi

Nim : H1031201040

Program/Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila dikemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 21 Januari 2025



ana Pratiwi
31201040

Sintesis Metakaolin Sulfonat dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Warna Air Olahan PDAM Pontianak

Abstrak

Air gambut memiliki warna kuning atau coklat kehitaman yang disebabkan tingginya zat organik di dalamnya yang berupa asam humat, asam fulvat serta humin. Oleh karena itu, air gambut perlu diolah agar memenuhi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Pengolahan air baku yang berupa air gambut telah dilakukan PDAM Pontianak namun belum memenuhi baku mutu Permenkes berdasarkan parameter warna dan kekeruhan, prinsip adsorpsi menggunakan adsorben dapat menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Penurunan warna air gambut menggunakan metakaolin telah dilakukan dengan dosis sebesar 90 ppm, akan tetapi proses adsorpsi molekul zat penyebab warna (asam humat dan asam fulvat) tersebut kurang maksimal. Hal tersebut dikarenakan metakaolin hanya memanfaatkan pori-pori saja untuk mengadsorpsi zat penyebab warna dari air gambut. Metakaolin sulfonat merupakan produk modifikasi dari metakaolin dimana dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zat penyebab warna air gambut. Metakaolin sulfonat disintesis dengan cara merefluks metakaolin dan asam sulfat dengan memvariasikan konsentrasi asam sulfat dan waktu reaksi pada temperatur 90°C. Asam sulfat berperan sebagai agen sulfonasi. Metakaolin memanfaatkan luas permukaan dan gugus sulfonat yang dapat berikatan hidrogen dengan molekul penyebab warna pada air gambut. Metakaolin sulfonat terbaik adalah metakaolin yang direaksikan dengan asam sulfat 2M selama 1 jam yang memiliki luas permukaan sebesar 105,74 m^2/g, total volume pori 0,137 cm^3/g, dan rata-rata ukuran pori 2,60 nm. Penggunaan metakaolin sulfonat konsentrasi 1 mg/L yang dapat menurunkan warna air gambut dengan kondisi warna air *intake* <1000 PtCo dan 20-30 mg/L dengan kondisi warna air *intake* >1000 PtCo.

Kata kunci : air gambut, zat organik, adsorben, sintesis, metakaolin, sulfonat

Synthesis of Sulfonated Metakaolin and Its Application for Color Adsorption in Treated Water from PDAM Pontianak

Abstract

Peat water, characterized by its yellow or dark brown color due to high organic subtances, primarily consisting of humic acid, fulvic acid, and humin, requires treatment to meet the standards set by Minister of Health Regulation No. 2 of 2023. Although PDAM Pontianak has implemented processes for treating peat water, the resulting quality still does not comply with the required standards concerning color and turbidity parameters. Adsorption with adsorbents has been proven to be an effective method to solve this issue. Previous attempts to reduce the color of peat water using metakaolin at a dosage of 90 ppm have shown that the adsorption of color-causing molecules (humic acid and fulvic acid) was not fully effective, as metakaolin primarily relied on its pore structure for adsorption. Sulfonated metakaolin, a modified form of metakaolin, enhances the adsorption capacity for these color-causing substances. This modification is achieved by refluxing metakaolin with sulfuric acid at varying concentrations and reaction times at 90 °C, with sulfuric acid acting as a sulfonation agent. The resulting sulfonated metakaolin possesses a large surface area and sulfonate groups that can form hydrogen bonds with the color-causing molecules in peat water. The effective sulfonated metakaolin is produced by reacting metakaolin with 2M sulfuric acid for one hour, yielding a specific surface area of 105.74 m^2/g, total pore volume of 0.137 cm^3/g, and an average pore size of 2.60 nm. The application of sulfonated metakaolin at a concentration of 1 mg/L effectively reduces the color of peat water when the intake water color is below 1000 PtCo, while concentrations between 20 to 30 mg/L are required for intake water exceeding this threshold.

Keywords: peat water, organic substances, adsorbent, metakaolin, sulfonate

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatu, puji syukur atas rahmat Allah SWT, berkat dari rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "Sintesis Metakaolin Sulfonat dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Warna Air Olahan PDAM Pontianak". Skripsi ini ditulis bertujuan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Strata satu (S-1) Sarjana Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahun Alam (FMIPA) Universitas Tanjungpura. Penelitian yang dilakukan penulis untuk menulis skripsi ini dilakukan di laboratorium FMIPA Universitas Tanjungpura. Seiring berjalannya penulisan skripsi ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua saya beserta keluarga lainnya yang selalu medoakan dan mendukung saya baik secara materi dan lain-lain sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
3. Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Bapak Dr. Andi Khairil Alimuddin, S.Si., M.Si.
4. Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Dr. Winda Rahmalia, S.Si., M. Si.
5. Dosen pembimbing pertama, Prof. Dr. H. Thamrin Usman, DEA beserta dosen pembimbing kedua, Dr. Nelly Wahyuni, S.Si., M.Si yang selalu mengajari saya ilmu baru selama skripsi.
6. Dosen penguji pertama, Prof. Dr. Gusrizal., M. Si. Beserta dosen penguji kedua, Dra. Harlia, S. Si., M.Si.
7. Dosen pembimbing akademik, Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si., M.Si.
8. Kepala laboratorium riset program studi kimia FMIPA Universitas Tanjungpura, Prof. Dr. Rudiansyah, Ph.D.

9. Laboran laboratorium program studi FMIPA Universitas Tanjungpura, Yoga Pratama, S.Si dan Titik Lestari, S.Si yang telah membantu saya dalam peminjaman alat untuk melakukan penelitian.
10. Saya mengucapkan terima kasih pula terhadap Muhammad Fauzan, Rivo Andini Wulandari, Afifah Rizka Sekarini, Nazira Putri Aliya Sari, Zia Puji Layka, Nasywa Adinda, Yunior Artha Arga Manulang, Graciella Dian Putri Ewanda, Maria Erdita Dini, Ajeng Fitria, Irma Vidyana, Anggelia Willa Mancuceni, Ersa Dwi Ranti dan teman-teman lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya serta memberikan semangat selama proses peneletian dan penulisan skripsi ini.

Pontianak, 21 Januari 2025



Meidiana Pratiwi

H1031201040

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
BAB I PENDAHULUAN 12
1.1 Latar Belakang 12
1.2 Perumusan Masalah 15
1.3 Tujuan Penelitian 15
1.4 Manfaat Penelitian 15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 17
2.1 Air Gambut 17
2.2 Metakaolin 18
2.3 Metakaolin Sulfonat 23
2.4 Persyaratan Kualitas Air Minum 24
2.5 Karakterisasi Metakaolin Sulfonat 25
2.5.1. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) 25
2.5.2 GSA (*Gas Sorption Analyzer*) 26
2.6 Adsorpsi 28
BAB III METODELOGI PENELITIAN 30
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian 30
3.2 Alat Dan Bahan 30
3.3 Prosedur Kerja 30
3.3.1 Pembuatan Metakaolin 30
3.3.2 Sintesis Metakaolin Sulfonat 31
3.3.3 Jar test 31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Sintesis Metakaolin Sulfonat 33
4.2 Karakterisasi Metakaolin Sulfonat 36
4.2.1 Analisis Spektroskopi FTIR 36
4.2.2 Analisis GSA Metakaolin Sulfonat 39
4.3 *Jartest* 42

BAB V SIMPULAN 47
5.1 Simpulan 47
5.2 Saran 47
DAFTAR PUSTAKA 48
LAMPIRAN 52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Analisis Pori Menggunakan GSA Kaolin dan Metakaolin 22
Tabel 3. 1 Variasi Konsentrasi Asam Sulfat, dan Waktu Reaksi 31
Tabel 4. 1 Analisis Pori Menggunakan GSA Metakaolin, dan Metakaolin Sulfonat 40
Tabel 4. 2 Hasil Penambahan Tawas 43
Tabel 4. 3 Penentuan Variasi dan Dosis Metakaolin Sulfonat 44
Tabel 4. 4 Pengulangan Variasi A dengan Dosis 1 ppm 44
Tabel 4. 5 Jartest terhadap Air Intake >1000 PtCo 45
Tabel 4. 6 Perbandingan Metakaolin Sulfonat Variasi A dan B 46
Tabel 4. 7 Perbandingan Metakaolin Sulfonat Variasi A dan C 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hipotesis Struktur Asam Humat Fulvat 17
Gambar 2. 2 Hipotesis Struktur Asam Humat 18
Gambar 2. 3 Struktur kaolin (a) satu lapis, (b) dua lapis 19
Gambar 2. 4 Struktur Metakaolin..... 19
Gambar 2. 5 Spektrum spektroskopi FTIR Kaolin dan Metakaolin 21
Gambar 2. 6 Spektrum spektroskopi FTIR Kaolin dan Metakaolin 21
Gambar 4. 1 Prinsip Adsorpsi antara Molekul Organik dan Adsorben 34
Gambar 4. 2 Hipotesis Mekanisme Reaksi Sintesis Metakaolin Sulfonat..... 34
Gambar 4. 3 Metakaolin sulfonat..... 35
Gambar 4. 4 Spektrum spektroskopi FTIR Metakaolin Sulfonat 36
Gambar 4. 5 Spektrum spektroskopi FTIR silika tersulfonasi..... 37
Gambar 4. 6 Spektrum spektroskopi FTIR Metakaolin Sulfonat Jenuh 38
Gambar 4. 7 Hipotesis Ikatan Hidrogen antara Asam Humat dengan MS 39
Gambar 4. 8 a) Silanol Isolasi; b) Silanol Geminal; c) Silanol Vicinal 41
Gambar 4. 9 Proses *Jartest* a) Pengadukan Cepat; b) Pengadukan Lambat; c) Pengendapan Flok 43

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air gambut adalah air yang ditemukan di daerah berawa dan dataran rendah, terutama di Sumatera dan Kalimantan. Lahan gambut terbentuk karena terbenamnya daratan sehingga terjadi dekomposisi tidak sempurna dari tumbuhan tropis oleh bakteri anaerobik. Air gambut sebaiknya tidak langsung digunakan untuk aktivitas manusia karena warna airnya belum memenuhi standar kesehatan. Hal tersebut merupakan tantangan tersendiri terkait pasokan air yang memenuhi standar kesehatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.2 Tahun 2023. Air gambut digunakan oleh PDAM sebagai sumber air sehingga perlu mendapatkan perhatian khusus untuk memastikan bahwa air olahan tersebut memenuhi standar kesehatan yang ditetapkan (A'idah, *et al*., 2018).

Karakteristik dari air gambut yaitu air berwarna kuning kecoklatan berkisar antara 315-790 PtCo, warna kuning kecoklatan pada air gambut disebabkan oleh tingginya kandungan zat organik, terutama dalam bentuk asam humus yang terdiri dari asam humat, asam fulvat, dan humin. Air gambut memiliki kekeruhan dan partikel tersuspensi rendah sehingga cenderung transparan, nilai kekeruhan berkisar 34-86 NTU. Tingginya zat organik tersebut juga menyebabkan pH air gambut bernilai 2-5 atau bersifat asam (Usman et al., 2024).

Upaya dalam pengolahan air olahan yang berupa air gambut yang telah dilakukan PDAM Pontianak menggunakan metode koagulasi, flokulasi serta filtrasi. Koagulasi dan flokulasi yang dilakukan pada umumnya menggunakan aluminium sulfat $Al_2(SO_4)_3$ dan kianchem. Akan tetapi, metode yang digunakan dalam pengolahan air gambut memiliki sejumlah keterbatasan, salah satunya warna air gambut yang belum sesuai dengan standar kesehatan. Beberapa metode seperti penggunaan $FeClSO_4$, dapat terkendala oleh keterbatasan pasokan bahan kimia tertentu, yang dapat mempengaruhi ketersediaan dan biaya operasional. Metode seperti *reverse osmosis* memerlukan biaya operasional yang tinggi dalam hal perawatan dan energi, sehingga tidak selalu praktis atau ekonomis untuk skala

besar. Efisiensi metode konvensional dapat bervariasi tergantung pada kondisi air gambut yang spesifik, sehingga diperlukan penyesuaian atau kombinasi metode untuk mencapai hasil yang diinginkan (Gusfiyesi, *et al*., 2018).

Berdasarkan hal tersebut penggunaan adsorben dapat menjadi inovasi untuk menghilangkan warna pada air gambut menggunakan prinsip adsorpsi. Penggunaan kaolin sebagai adsorben untuk air gambut telah dilakukan sebelumnya dengan hasil kaolin yang telah dikalsinasi pada temperatur 400 °C dapat menyerap bahan organik dalam air gambut sebanyak 75,53%. Kondisi optimal untuk mengurangi kandungan bahan organik terjadi pada proses adsorpsi dengan pH 4, waktu pengadukan 1,5 jam, massa kaolin sebanyak 500 mg per 50 mL air gambut, dan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kaolin memiliki potensi sebagai adsorben untuk air gambut (Wahyuni et al., 2023). Kaolin yang dikalsinasi pada temperatur 700°C selama 2 jam (metakaolin) telah digunakan sebagai adsorben warna air gambut pada produksi air bersih di PDAM Kota Pontianak dengan parameter warna bernilai 1 PtCo, *turbidity* bernilai 0,48 NTU, serta pH bernilai 5 dengan hasil yang memenuhi standar Permenkes. Bedasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan adsorben metakaolin sangat berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben warna air gambut dengan menggunakan prinsip adsorpsi (Usman, *et al*., 2022).

Metakaolin merupakan kaolin terkalsinasi yang dihasilkan melalui aktivasi termal tanah liat kaolin pada suhu 600°C - 950°C dengan rentang waktu 1-12 jam (Rashad, 2013). Kaolin, atau kaolinit, adalah jenis lempung alami berwarna putih yang sebagian besar terdiri dari mineral kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), serta mengandung lapisan aluminosilikat. Proses kalsinasi pada kaolin bertujuan untuk menghilangkan air yang terikat secara kimia dalam tanah liat kaolin, merusak struktur kaolin sehingga lapisan alumina dan silika menjadi tidak teratur, mengubahnya menjadi metakaolin yang sangat reaktif dan amorf dengan luas permukaan spesifik yang tinggi. Hal tersebut menjadikan metakaolin berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben karena memiliki porositas yang tinggi (Rashad, 2013).

Upaya untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi selain dengan menggunakan pori-pori metakaolin, dapat juga dilakukan modifikasi terhadap metakaolin dengan penambahan gugus fungsi. Penelitian sebelumnya melakukan percobaan dengan mencampurkan lignit dengan asam sulfat untuk membentuk lignit sulfonat yang diaplikasikan untuk menganalisis konsentrasi Cr (VI) dalam larutan. Penambahan gugus sulfonat tersebut menunjukkan bahwa lignit sulfonasi merupakan adsorben yang efektif terhadap ion logam Cr (VI) (Zhang et al., 2010). Modifikasi kitosan dengan menambahkan kaolin sulfonasi di dalamnya sebagai pengisi untuk meningkatkan kinerja membran. Kaolin direaksikan dengan asam sulfat sehingga membentuk kaolin sulfonat (Saputra, *et al*., 2016).

Metakaolin dapat dimodifikasi menjadi metakaolin sulfonat dengan mereaksikannya dengan asam sulfat 2M selama 1 jam pada suhu 90°C. Penambahan waktu reaksi dan konsentrasi asam sulfat memengaruhi kemampuan adsorpsi. Kaolin yang telah berubah menjadi metakaolin, jumlah gugus silanol berkurang, sehingga semua gugus silanol yang tersisa telah tersulfonasi tanpa menambah situs aktif baru (Zhuravlev, 2000). Gugus silanol yang terdapat pada metakaolin akan terprotonasi oleh asam sulfat dimana ion hidrogen (proton) dari asam sulfat ditransfer atau ditambahkan pada gugus silanol (Si-OH) di permukaan metakaolin. Reaksi ini akan menyebabkan gugus silanol menjadi bermuatan positif karena menerima proton sehingga terbentuk gugus asam sulfonat (Si-O-SO_3H). Setelah terjadi protonasi, air akan dieliminasi (dehidrasi) atau dilepaskan dari molekul karena gugus hidroksil (OH) pada gugus silanol kehilangan ion hidrogen sehingga diperoleh metakaolin sulfonat (Si-O-SO_3H).

Modifikasi metakaolin menjadi metakaolin sulfonat dapat meningkatan kemampuan adsorpsi karena terdapat gugus sulfonat yang bersifat polar sehingga dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul polar lainnya seperti asam humat ataupun asam fulvat pada air gambut serta memanfaatkan pori-pori dan luas permukaannya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Winda, *et al*. (2014) yang menambahkankan PVA-sulfonasi pada tongkol jagung sebagai adsorben ion logam Pb^{2+}, diketahui terjadi peningkatan luas permukaan sebesar 13% dibandingkan dengan adsorben tanpa penambahan PVA-tersulfonasi. Lapisan

kaolin merupakan struktur berlapis, apabila diberi asam maka struktur tersebut akan terganggu karena asam akan melarutkan aluminium dan logam lainnya. Hal ini akan membuka pori-pori sehingga diharapkan terbentuk ukuran luas permukaan yang lebih besar (Wahyuni, *et al*., 2008).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka rumusan masalah yang memungkin sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi metakaolin sulfonat yang terbaik pada variasi konsentrasi asam sulfat dan lama reaksi ?
2. Bagaimana karakter dari metakaolin sulfonat ?
3. Berapa dosis metakaolin sulfonat yang dapat menghilangkan warna air olahan PDAM ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian dapat dilihat sebagai berikut :

1. Mensintesa metakaolin sulfonat dari metakaolin dengan variasi konsentrasi asam sulfat dan lama reaksi.
2. Karakterisasi metakaolin sulfonat.
3. Menentukan konsentrasi metakaolin sulfonat terbaik sebagai adsorben dalam menghilangkan warna air olahan PDAM menggunakan sistem *batch*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil akhir dari penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai modifikasi metakaolin menjadi metakaolin sulfonat yang memiliki kemampuan adsorpsi yang baik tehadap molekul penyebab warna air gambut. Penggunaan adsorben tersebut juga diharapkan dapat terlibat dalam peningkatan efisiensi pengolahan air gambut menjadi air bersih yang memenuhi standar Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Metakaolin yang digunakan berbahan dasar kaolin tersebut juga merupakan bahan yang relatif terjangkau dan melimpah. Dengan demikian hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi

nyata dalam pengembangan teknologi pengolahan air yang berkelanjutan dan efektif.