



PENGEMBANGAN KOMPOSIT BESI OKSIDA/KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN RESIDU ANTIBIOTIK PADA AIR LIMBAH RUMAH SAKIT

ACHMAD GUS FAHMI



**ILMU PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2022**

- 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 DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Komposit Besi Oksida/Karbon Aktif sebagai Adsorben Residu Antibiotik pada Air Limbah Rumah Sakit” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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 disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2022

Achmad Gus Fahmi
NIM P062180258

@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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@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.

RINGKASAN

ACHMAD GUS FAHMI. Pengembangan Komposit Besi Oksida/Karbon Aktif sebagai Adsorben Residu Antibiotik pada Air Limbah Rumah Sakit. Dibimbing oleh ZAENAL ABIDIN, CECEP KUSMANA dan ERLIZA NOOR.

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang penting dan sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia. Jumlahnya yang terbatas dan populasi manusia yang terus meningkat mengakibatkan sumber daya alam ini semakin menurun. Salah satu penyebab penurunan kualitas air adalah adanya zat pencemar bahan organik seperti residu antibiotik. Keberadaan residu antibiotik di perairan dapat menyebabkan kerusakan ekosistem dan bersifat racun bagi biota perairan. Selain itu, residu antibiotik yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat memicu timbulnya penyakit lain seperti kanker dan diabetes melitus. Rumah sakit sebagai instansi pelayanan kesehatan dapat berpotensi sebagai sumber cemaran residu antibiotik. Pasien penerima terapi antibiotik hanya menyerap 30–90% dari jumlah kandungan antibiotik dalam obat. Sisanya akan diekskresikan kembali melalui urin dan feses dalam bentuk residu antibiotik. Hal ini menyebabkan akumulasi residu antibiotik pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) rumah sakit yang sebagian besar IPAL di Indonesia masih menggunakan sistem biologis. Berdasarkan penelitian sebelumnya, sistem IPAL tersebut belum efektif dalam mengurangi keberadaan residu antibiotik pada air limbah. Metode adsorpsi dan diikuti dengan proses oksidasi lanjutan dianggap sebagai metode yang paling efisien untuk menghilangkan residu antibiotik dalam air. Oleh sebab itu, diperlukan suatu inovasi adsorben dalam mengurangi residu antibiotik pada air limbah.

Penelitian ini bertujuan memberikan alternatif adsorben yang mampu menyerap sekaligus dekomposisi residu antibiotik pada air limbah rumah sakit. Adapun tujuan antaranya (1) menganalisis pola penggunaan antibiotik pada pasien rawat inap di rumah sakit, (2) menganalisis kondisi eksisting IPAL dan menghitung risiko ekotoksikologi yang disebabkan oleh residu antibiotik yang dilepaskan, (3) mengembangkan komposit adsorben besi oksida/karbon aktif, dan (4) mengevaluasi kinerja adsorben pada model air limbah. Metode pengumpulan data dilakukan secara *cross-sectional retrospektif* studi dari rekam medis selama tahun 2020. Analisis pola penggunaan antibiotik dilakukan dengan menggunakan metode *Anatomical Therapeutic Chemical/Defined Daily Dose (ATC/DDD)* dan *Drug Use (DU90%)* untuk mengidentifikasi tingkat rasionalitas secara kuantitatif dan tingkat konsumsi per tahun. Kondisi eksisting IPAL diobservasi secara langsung dan dengan menggunakan metode *Ecological Structure Activity Relationships Program (ECOSAR)* dihitung risiko ekotoksikologi dari residu antibiotik yang dihasilkan. Metode pirolisis *glasswool* dan kopresipitasi digunakan untuk mensintesis karbon aktif dan komposit. Kemudian dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared/FTIR*, *X-Rays Diffraction/XRD*, *Scanning Electron Microscope/SEM*, dan *Particle Size Analyzer/PSA* dilakukan karakterisasi komposit yang dihasilkan. Metode *batch* adsorpsi dan dekomposisi melalui reaksi *Fenton-like* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari komposit terhadap model air limbah.

Hasil analisis menunjukkan terdapat delapan jenis antibiotik dari total 27 jenis antibiotik yang masuk dalam segmen 90% penggunaan oleh pasien rawat inap di lokasi penelitian. Hasil ini mengindikasikan adanya ketidakrasionalan dalam

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

penggunaan antibiotik berdasarkan metode ATC/DDD. Seftriakson merupakan jenis antibiotik tertinggi yang digunakan oleh semua golongan usia dengan total konsumsi sebesar 16,1 kg/tahun. Berdasarkan laju ekskresi seftriakson (67%) maka diprediksi terdapat 10,8 kg/tahun residu seftriakson terakumulasi pada IPAL rumah sakit di lokasi penelitian. Sistem IPAL rumah sakit dengan metode biofilter anaerob-aerob memiliki nilai efisiensi sebesar 10% dalam mengeliminasi residu antibiotik, sehingga diperkirakan konsentrasi seftriakson dalam air limbah sebesar 0,42 µg/l. Adapun konsentrasi maksimum seftriakson yang dapat menyebabkan ekotoksikologi bagi biota perairan adalah 0,331 µg/l. Berdasarkan data tersebut, maka keberadaan residu antibiotik pada air limbah rumah sakit memiliki tingkat ekotoksikologi yang cukup tinggi.

Pembuatan komposit adsorben besi oksida/karbon aktif menggunakan metode kopresipitasi dilakukan selama 30 hari. Variasi pembuatan komposit dengan penambahan karbon aktif pada hari ke-0, 1, 3, 7, 14, dan 21 selama proses agitasi. Komposit hari ke-1 karena memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dalam air dan komposit tergabung secara sempurna dibandingkan komposit lainnya. Adapun karakteristik komposit tersebut adalah nilai pH netral (pH=7,10), kadar air 6,94%, kadar abu 8,10%, dan luas permukaan sebesar 605 m²/g. Komposit memiliki perbandingan komposisi 3:1 antara karbon aktif dan besi oksida. Kapasitas adsorpsi komposit terhadap residu antibiotik pada model air limbah sebesar 86,96 mg/g adsorben dengan kenaikan kapasitas adsorpsi sebesar 7,82% jika dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif (80,65 mg/g adsorben). Proses dekomposisi melalui reaksi *Fenton-like* optimum pada konsentrasi hidrogen peroksida (H₂O₂) sebesar 2% (b/b).

Penelitian ini telah berhasil membuat produk komposit yang dapat digunakan untuk adsorben residu antibiotik di perairan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh simpulan berikut (1) masih terdapat pola penggunaan antibiotik yang tidak rasional dan dapat meningkatkan akumulasi residu antibiotik di lingkungan. (2) Sistem IPAL yang ada masih belum efektif dalam mengurangi residu antibiotik, sehingga residu antibiotik memiliki risiko ekotoksikologi yang signifikan (RQs>1) yang dapat merusak ekosistem perairan. (3) Pengembangan komposit adsorben besi oksida/karbon aktif telah berhasil dilakukan dengan komposit terbaik dihasilkan saat penambahan karbon aktif pada hari ke-1 proses agitasi, sehingga besi oksida dapat membentuk komposit dengan karbon aktif. (4) Penambahan besi oksida meningkatkan kinerja adsorpsi dari komposit. Selain itu, keberadaan besi oksida membantu meningkatkan proses dekomposisi residu antibiotik melalui reaksi *Fenton-like*, sehingga komposit dapat digunakan berulang hingga tiga kali.

Kata kunci: Adsorben, ekotoksikologi, besi oksida, reaksi *Fenton-like*, seftriakson.

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

SUMMARY

ACHMAD GUS FAHMI. Development of Iron Oxide/Activated Carbon Composite as Adsorbent of Antibiotic Residues at Hospital Wastewater. Supervised by ZAENAL ABIDIN, CECEP KUSMANA, and ERLIZA NOOR.

Water is one of the most critical natural resources and is needed for human life. The limited number and the ever-increasing human population have resulted in the declining quality of these natural resources. One of the causes of the decline in water quality is the presence of pollutant organic matter such as antibiotic residues. The presence of antibiotic residues in waters can cause damage to ecosystems and are toxic to aquatic biota. In addition, antibiotic residues that enter the human body can trigger other diseases such as cancer and diabetes mellitus. Hospitals as health care institutions can potentially be a source of antibiotic residue contamination. Patients receiving antibiotic therapy only absorb 30–90% of the total antibiotic content in the drug. The rest will be re-excreted through urine and feces in the form of antibiotic residues. This condition will cause the accumulation of antibiotic residues in the hospital's wastewater treatment plant (HWWTPs). Most of the HWWTPs in Indonesia still use an anaerobic-aerobic biofilter system and activated sludge. Previous research showed that the HWWTPs system had not been effective in reducing the presence of antibiotic residues in wastewater. Therefore, innovation is needed to reduce antibiotic residues in wastewater.

This study aims to provide an alternative adsorbent that can absorb and decompose antibiotic residues in hospital wastewater. The objectives include (1) analyzing the pattern of antibiotic use in hospitalized patients, (2) identifying the existing conditions of HWWTPs and calculating the ecotoxicological risk caused by the released antibiotic residues, (3) developing an iron oxide/activated carbon adsorbent composite, and (4) evaluate the performance of the adsorbent on the model wastewater. The data collection method was carried out in a retrospective cross-sectional study of medical records in 2020. Analysis of the pattern of antibiotic use was carried out using the Anatomical Therapeutic Chemical/Defined Daily Dose (ATC/DDD) and Drug Use (DU90%) methods to identify the level of rationality quantitatively and consumption levels per year. The existing condition of the HWWTPs was observed directly and by using the Ecological Structure Activity Relationships Program (ECOSAR) method, the ecotoxicological risk of the antibiotic residues produced was calculated. Glasswool pyrolysis and co-precipitation methods were used to synthesize activated carbon and composites. Then by using Fourier Transform Infrared/FTIR, X-Rays Diffraction/XRD, Scanning Electron Microscope/SEM, and Particle Size Analyzer/PSA, the resulting composite was characterized. Batch adsorption and decomposition methods through Fenton-like reactions were carried out to evaluate the performance of the composites against the wastewater model.

The analysis showed there are eight types of antibiotics out of a total of 27 types of antibiotics included in the 90% segment of use by inpatients at the study site. These results indicate an irrational use of antibiotics based on the ATC/DDD method. Ceftriaxone is the highest type of antibiotic used by all age groups, with a total consumption of 16,1 kg/year. Based on the excretion rate (67%), the prediction of ceftriaxone residue is 10,8 kg/year in the HWWTPs. The HWWTPs system using

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

the anaerobic-aerobic biofilter method has an efficiency value of 10% in eliminating antibiotic residues, so it is estimated that the concentration of ceftriaxone in wastewater is 0,42 g/l. The maximum concentration of ceftriaxone that can cause ecotoxicology for aquatic biota is 0,331 g/l. Based on data, the presence of antibiotic residues in hospital wastewater has a high level of ecotoxicology.

The iron oxide/activated carbon adsorbent composite was carried out by the co-precipitation method for 30 days. Variations in composite manufacture were carried out by adding activated carbon on days 0, 1, 3, 7, 14, and 21 during the agitation process. The first-day composite was chosen because it has a high level of stability in water, and the composite is perfectly combined. The characteristics of the composite are neutral pH value (pH=7,10); 6,94% water content, and 605 m²/g surface area. The composite has a composition ratio 3:1 between activated carbon and iron oxide of 1:3. The composite was able to adsorb antibiotic residues in the wastewater model at 86,96 mg/g adsorbent with an increase in adsorption capacity of 7,82% when compared to the adsorption capacity of activated carbon (80,65 mg/g adsorbent). The decomposition process through the Fenton-like reaction is optimum at a concentration of hydrogen peroxide (H₂O₂) of 2% (w/w).

This research has succeeded in making a composite product that can be used as an adsorbent for antibiotic residues in water. Based on the study results, the following conclusions were obtained (1) there are still patterns of irrational use of antibiotics, which can increase the accumulation of antibiotic residues in the environment. (2) The existing HWWTPs system is still not effective in reducing antibiotic residues, so antibiotic residues have a significant ecotoxicological risk (RQs>1) that can damage aquatic ecosystems. (3) The development of an iron oxide/activated carbon adsorbent composite has been successfully carried out, with the best composite produced when activated carbon is added on the first day of the agitation process so that iron oxide can form a composite with activated carbon. (4) The addition of iron oxide improves the adsorption performance of the composite. In addition, the presence of iron oxide helps to increase the decomposition process of antibiotic residues through a Fenton-like reaction so that the composite can be used repeatedly up to three times.

Keywords: Adsorbent, ceftriaxone, ecotoxicological risk, Fenton-like reaction, iron oxide.

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

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2022
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.

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

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.



PENGEMBANGAN KOMPOSIT BESI OKSIDA/KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN RESIDU ANTIBIOTIK PADA AIR LIMBAH RUMAH SAKIT

ACHMAD GUS FAHMI

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2022**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Andes Ismayana, S.T.P., M.T.
- 2 Dr. Ir. Sigid Hariyadi, M.Sc.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Andes Ismayana, S.T.P., M.T.
- 2 Dr. Ir. Sigid Hariyadi, M.Sc.

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.

Judul Disertasi : Pengembangan Komposit Besi Oksida/Karbon Aktif sebagai Adsorben Residu Antibiotik pada Air Limbah Rumah Sakit

Nama : Achmad Gus Fahmi
NIM : P062180258

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Cecep Kusmana, MS.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Erliza Noor



Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA. IPU.
NIP 196212011987031002



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng.
NIP 1960041919850310002



Tanggal Ujian: 12 Agustus 2022

Tanggal Lulus: 25 Agustus 2022

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

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.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala saya panjatkan, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nyalah akhirnya saya dapat menyelesaikan naskah disertasi ini, yang berjudul “Pengembangan Komposit Besi Oksida/Karbon Aktif sebagai Adsorben Residu Antibiotik pada Air Limbah Rumah Sakit”. Disertasi ini merupakan bagian dari rangkaian penelitian yang didanai oleh DIKTI melalui skema beasiswa Penelitian Pendidikan Magister menuju Doktor Sarjana Unggul (PMDSU Batch III).

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr. selaku ketua komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Cecep Kusmana, MS. dan Prof. Dr. Ir. Erliza Noor selaku anggota komisi pembimbing yang telah sabar dan banyak memberikan nasihat kepada penulis. Tak lupa penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Dr. Andes Ismayana S.T.P., M.T., dan Dr. Ir. Sigid Hariyadi M.Sc., yang telah memberikan masukan baik pada ujian lisan hingga ujian tertutup. Terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudya Noorachmat M.Eng. selaku penguji luar komisi pada sidang preliminari lisan, Dr. Ir. R.A. Dyah Tjahyandari Suryaningtyas M.Appl.Sc. selaku perwakilan program studi pada seminar proposal, Prof. Dr. Ir. Lailan Syaufina, M.Sc selaku perwakilan program studi pada ujian tertutup atas saran serta kritik konstruktif dalam penulisan karya ilmiah ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU dan Prof. Dr. Lina Karlinasari, M.Sc.F selaku Ketua dan wakil ketua program studi ilmu pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan, Bu Herlin dan Pak Sobur yang telah membantu proses administrasi pembelajaran selama di program studi ilmu pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan IPB University. Tidak lupa juga kepada rekan-rekan staf di Laboratorium Kimia PPKU atas kesediaan tempat penelitian serta masukan selama proses penelitian. Selain itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pegawai rumah sakit yang telah sangat banyak membantu serta juga mempersilahkan penulis untuk melaksanakan satu rangkaian penelitian disana.

Bersama ini dengan penuh rasa syukur dan terima kasih, penulis persembahkan karya tulis ini kepada kedua orang tua Bapak Sugeng Santoso dan Ibu Titik Handayani, kepada istri tercinta Khanifatul Azizah, S.Si dan Anak tersayang Grafena Haifa Solihah yang selalu memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya yang tiada batas selama penulis menjalani pendidikan hingga lulus. Rekan-rekan seperjuangan PMDSU Batch III terkhusus Della, Dita, dan Vicky, PSL 2018 dan PSL 2019 atas kebersamaan yang sangat berkesan. Keluarga Rekayasa Kosmetik ITERA yang telah memberikan keleluasaan penulis untuk bisa fokus menyelesaikan disertasi ini serta semua pihak atas sokongan moral dan material serta semangat yang selalu diberikan kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2022

Achmad Gus Fahmi

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	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	6
II METODE	7
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	7
2.2 Alat dan Bahan	7
2.3 Tahapan Penelitian	7
2.4 Jenis, Sumber dan Analisis Data	8
III POLA PENGGUNAAN ANTIBIOTIK PADA PASIEN RAWAT INAP DI RUMAH SAKIT	10
3.1 Pendahuluan	10
3.2 Metode	11
3.3 Hasil dan Pembahasan	12
3.4 Simpulan	19
IV KONDISI EKSISTING INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI RUMAH SAKIT KOTA METRO, LAMPUNG	20
4.1 Pendahuluan	20
4.2 Metode	21
4.3 Hasil dan Pembahasan	22
4.4 Simpulan	32
V SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT ADSORBEN BERBASIS BESI OKSIDA/KARBON AKTIF	34
5.1 Pendahuluan	34
5.2 Metode	35
5.3 Hasil dan Pembahasan	39
5.4 Simpulan	54
VI EFEKTIVITAS KOMPOSIT ADSORBEN DALAM MENGHILANGKAN RESIDU ANTIBIOTIK PADA AIR LIMBAH RUMAH SAKIT	55
6.1 Pendahuluan	55
6.2 Metode	56
6.3 Hasil dan Pembahasan	58
6.4 Simpulan	68
VII PEMBAHASAN UMUM	69
VIII SIMPULAN DAN SARAN	74

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.

8.1	Simpulan	74
8.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		89
RIWAYAT HIDUP		94

DAFTAR TABEL

2.1	Matrik pencapaian tujuan penelitian	9
3.1	Kondisi demografi pasien rawat inap di lokasi penelitian	13
3.2	Nilai DDD/100 hari rawat untuk berbagai jenis antibiotik	14
3.3	Hasil $DU90\%$ penggunaan antibiotik pada lokasi penelitian	16
4.1	Karakteristik zat pencemar berdasarkan sumber air limbah dan pengaruhnya pada sistem IPAL biologis	23
4.2	Hasil pemantauan air limbah hasil pengolahan IPAL RS di lokasi penelitian pada tahun 2020	26
4.3	Perbandingan parameter dan nilai baku mutu untuk kedua peraturan dan standar kualitas air limbah di Jepang	31
5.1	Gugus fungsi yang terdeteksi vibrasi molekulnya pada biomassa, karbon tanpa perlakuan, karbon aktif <i>glasswool</i> dan karbon aktif komersial.	42
5.2	Estimasi luas permukaan karbon aktif dengan perhitungan.	45
5.3	Sifat fisika-kimia dari komposit adsorben	53
6.1	Konstanta model isoterm adsorpsi Langmuir and Freundlich	61
6.2	Model termodinamik dari sampel	64
6.3	Penelitian sebelumnya yang menggunakan metode <i>Fenton-like</i>	68

DAFTAR GAMBAR

1.1	Kerangka pemikiran pengembangan komposit besi oksida/karbon aktif dalam mengeliminasi dan dekomposisi residu antibiotik.	5
3.1	Grafik penggunaan antibiotik pasien rawat inap dalam berbagai usia pada salah satu rumah sakit di Kota Metro, Lampung.	18
4.1	Diagram proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob	25
4.2	Grafik pemantauan kualitas air limbah di lokasi penelitian untuk parameter pH dan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	27
4.3	Grafik pemantauan kualitas air limbah di lokasi penelitian untuk parameter minyak dan lemak serta BOD	28
4.4	Grafik pemantauan kualitas air limbah di lokasi penelitian untuk parameter COD dan TSS	29

4.5 Grafik pemantauan kualitas air limbah di lokasi penelitian untuk parameter total <i>coliform</i>	30
5.1 Desain cawan porselin pembuatan karbon aktif dengan modifikasi <i>glass wool</i> .	35
5.2 Skema reaksi umum pembentukan alotrop karbon pada variasi suhu (Lewis 1982).	39
5.3 Permukaan cawan porselen yang digunakan sebagai miniatur tungku pembakaran dalam pembuatan karbon aktif. Setelah perlakuan proses karbonisasi pada suhu 750 °C menggunakan <i>glasswool</i> (kiri) dan <i>aluminium foil</i> (kanan).	40
5.4 Skema dua dimensi penggambaran (a) struktur kristal (b) simpel kaca dan (c) multi komposit kaca (Jones dan Huff 2018).	40
5.5 Permukaan limbah <i>Palm Kernel Meal</i> /PKM sebelum perlakuan (a) setelah proses pirolisis kenampakan permukaan karbon aktif tanpa perlakuan (b), karbon aktif <i>aluminium foil</i> (c) dan karbon aktif <i>glasswool</i> (d).	41
5.6 Rendemen hasil pembuatan karbon aktif dengan menggunakan <i>aluminium foil</i> dan <i>glasswool</i> sebagai pelapis dengan suhu pirolisis 750 °C selama 5 jam.	41
5.7 Spektrum infra merah (IR) dari biomassa (—), karbon aktif komersial (—), karbon tanpa perlakuan (—) dan karbon aktif <i>glasswool</i> (—).	43
5.8 Nilai kapasitas tukar kation (KTK) dari karbon aktif komersial (AASG), karbon aktif <i>glasswool</i> (AAGW), karbon aktif tanpa perlakuan (A750) dan biomassa (AAB0) pada kondisi asam (pH=4) dan netral (pH=7).	44
5.9 Kenampakan warna karbon aktif, besi oksida, dan komposit	46
5.10 Pengujian stabilitas komposit terhadap air secara visual yang menunjukkan adanya pembentukan besi oksida pada permukaan karbon aktif.	46
5.11 Perbandingan bobot karbon aktif dan bobot besi oksida pada komposit	477
5.12 Pengukuran <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) untuk koloid besi oksida hari ke-14 (a), koloid besi oksida hari ke-21 (b), dan besi oksida blanko tanpa penambahan karbon aktif (c).	48
5.13 Spektrum inframerah karbon aktif, besi oksida, dan komposit	49
5.14 Spektrum XRD karbon aktif, besi oksida, dan komposit	50
5.15 Gambar SEM untuk pengukuran blanko besi oksida pada hari ke-0, 1, 3, 7, dan 21 dengan perbesaran 10000x.	5050
5.16 Gambar SEM untuk pengukuran komposit pada hari ke-7 dan 21 dengan perbesaran 5000x	51
5.17 Mekanisme pembentukan ferihidrit pada permukaan karbon aktif dalam komposit	54
6.1 Spektrum UV yang dihasilkan dari seftriakson dengan berbagai perlakuan (asam, basa dan panas).	59
6.2 Kapasitas adsorpsi untuk setiap adsorben (biomassa, karbon aktif, besi oksida dan komposit) terhadap CFT	60
6.3 Usulan mekanisme adsorpsi CFT dengan karbon aktif (kiri) dan komposit (kanan).	62
6.4 Dekomposisi CFT oleh adsorben pada variasi konsentrasi H ₂ O ₂ pada konsentrasi larutan 2%; 5%; 10%. (b/b)	65



6.5 Regenerasi adsorben untuk menyerap CFT	66
6.6 Mekanisme dekomposisi senyawa organik pada permukaan komposit yang mengandung <i>goethite</i> sebagai katalis pada reaksi <i>Fenton-like</i> .	67
7.1 Pemetaan permasalahan residu antibiotik yang terjadi di Eropa (Machowska dan Lundborg 2019).	69
7.2 Jalur pemetaan dan pencemaran residu antibiotik yang bersifat racun bagi biota perairan dan manusia berdasarkan penilaian risiko ekotoksikologi.	71
7.3 Implementasi komposit dalam pengolahan air limbah dengan mengubah serbuk komposit menjadi granul dan memasukkannya ke dalam pipa untuk proses akhir pada saluran air limbah (<i>tertiary treatment</i>).	72

DAFTAR LAMPIRAN

1. Laik etik (<i>ethical clearance</i>) penelitian di rumah sakit oleh komisi etik rumah sakit A. Yani Metro, Lampung.	90
2. Alur penilaian kualitas <i>penggunaan</i> antibiotik berdasarkan metode Gyssens (1992).	91
3. Konstruksi IPAL dan alur pengolahan air limbah di lokasi penelitian	92
4. Diagram proses pengelolaan air limbah rumah sakit yang disarankan berdasarkan petunjuk teknis instalasi pengolahan air limbah (IPAL) (Kemenkes 2011).	93

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.

GLOSARIUM

AOPs	<i>Advanced Oxidation Processes</i>
ARB	<i>Antibiotics Resistant Bacteria</i>
ATC	<i>Anatomical Therapeutic Chemical</i>
AS	Amerika Serikat
B3	Bahan Berbahaya dan Beracun
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
BPS	Badan Pusat Statistik
BPJS	Badan Penyelenggara Jaminan Sosial
BATAN	Badan Tenaga Atom Nasional
CFT	<i>Ceftriaxone</i>
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
COVID	Coronavirus Disease
DDD	<i>Defined Daily Dose</i>
ECOSAR	<i>Ecological Structure Activity Relationships Program</i>
ECs	<i>Emerging Contaminants</i>
EMA	<i>European Medical Agency</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah
MOF	<i>Metal Organic Framework</i>
PEC	<i>Predicted Environmental Concentration</i>
PNEC	<i>Predicted no-effect Concentration</i>
PKM	<i>Palm Kernel Meal</i>
PPKU	Program Pendidikan Kompetensi Umum
RSUD	Rumah Sakit Umum Daerah
RSM	<i>Response Surface Methodology</i>
RQs	<i>Risk Quotients</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SDGs	<i>Sustainable Development Goals</i>
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UV-Vis	<i>Ultraviolet-Visible</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
WHO	<i>World Health Organization</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.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia. Setiap orang membutuhkan air bersih sekitar 150 l/hari. Seiring dengan bertambahnya populasi manusia menyebabkan adanya peningkatan kebutuhan air bersih untuk memenuhi kegiatan sehari-hari. Namun, jumlah air bersih yang tersedia sangat terbatas. Menurut Guppy dan Anderson (2017) pada tahun 2035 sekitar 40% dari penduduk dunia diprediksi akan kekurangan air bersih. Hal ini menunjukkan perlu adanya pengelolaan air bersih di masa yang akan datang seperti yang tercantum pada Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) Nomor 6 tentang Air Bersih dan Sanitasi.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki ketersediaan air permukaan yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakatnya. Namun, beberapa sungai yang ada di Indonesia telah tercemar logam berat dan bahan organik (BPS 2017). Salah satu cemaran bahan organik yang menjadi perhatian di seluruh dunia saat ini adalah cemaran golongan *emerging contaminant* (ECs) seperti residu antibiotik (Anh *et al.* 2021). Kontaminan ini menumpuk di sumber air permukaan yang dapat menyebabkan risiko kesehatan bagi manusia dan kerusakan lingkungan dalam jangka panjang.

Keberadaan residu antibiotik sebagai pencemar pada air permukaan dipicu oleh peningkatan penggunaan antibiotik yang berlebihan. Pasien yang mengkonsumsi antibiotik hanya menyerap 30–90% dari jumlah kandungan antibiotik dalam obat (Du dan Liu 2012). Sisanya akan diekskresikan kembali melalui urin dan feses dalam bentuk senyawa induk atau konjugatnya yang disebut sebagai residu antibiotik (WHO 2014). Hal ini diperparah dengan tidak adanya aturan nilai ambang batas untuk residu antibiotik dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Adanya residu antibiotik pada air permukaan dapat mengakibatkan resistensi bakteri (Li *et al.* 2020) serta memicu penyakit lain seperti kanker prostat, kanker payudara, dan diabetes melitus (Boursi *et al.* 2015; Mensah dan Anshah 2016; Prajwal *et al.* 2017).

Antibiotik menjadi obat yang paling banyak diresepkan di Indonesia selama enam dekade terakhir (Heningtyas dan Hendriani 2017). Tingkat pemahaman dan sosialisasi yang rendah akan bahaya dari residu antibiotik menyebabkan penggunaan yang cenderung tidak rasional. Menurut Widyawati (2011) masyarakat Indonesia terbiasa mengkonsumsi antibiotik tanpa resep dokter, sehingga menyebabkan pelepasan residu antibiotik ke lingkungan tidak terkendali. Penggunaan antibiotik semakin meningkat saat masa pandemi COVID-19, karena mayoritas pasien COVID-19 diberikan terapi obat antibiotik jenis *azithromycin* (Beovic *et al.* 2020). Antibiotik seharusnya diresepkan jika hasil diagnosis pasien mengalami infeksi bakteri maupun sebagai upaya profilaksis (Etebu dan Arikekpar 2016). Pemerintah telah memberikan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 28 Tahun 2021 tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik. Namun, sampai saat ini di beberapa daerah masih dengan mudah mendapatkan dan



mengonsumsi antibiotik tanpa resep dokter, bahkan beberapa penelitian menyebutkan pemberian antibiotik di rumah sakit masih belum rasional (Andrajati *et al.* 2017).

Rumah sakit sebagai institusi pelayanan kesehatan berpotensi sebagai sumber cemaran residu antibiotik. Dalam pelayanannya, rumah sakit dapat menghasilkan air limbah domestik, limbah infeksius, limbah sitotoksik, limbah beracun, dan lain-lain. Air limbah domestik mengandung residu antibiotik dari urin pasien yang diberikan terapi antibiotik (WHO 2014). Rumah sakit dapat menghasilkan air limbah domestik dalam jumlah yang bervariasi tergantung jumlah pasien yang dirawat setiap harinya. Hartaja (2018) menyatakan bahwa rumah sakit dengan kapasitas rawat inap sebesar 50 tempat tidur dapat menghasilkan air limbah domestik sebanyak 40 m³/hari.

Pencemaran residu antibiotik yang terjadi akibat efisiensi pengolahan air limbah di rumah sakit yang masih rendah. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di rumah sakit masih belum memperhatikan keberadaan residu antibiotik pada air limbah domestik, sehingga residu antibiotik dapat terlepas ke badan air sungai. Studi yang dilakukan di Qatar oleh Al-Maadheed *et al.* (2019) menyatakan bahwa penggunaan metode penyaringan pasir, ultrafiltrasi, dan klorinasi belum mampu menghilangkan residu antibiotik dari air limbah domestik. Kurniawan *et al.* (2017) mendeteksi adanya lima jenis residu antibiotik seperti siprofloksasin, linkomisin, metronidazol, netilmicin, dan levofloksasin pada kolam penampungan air limbah rumah sakit di Palembang.

Residu antibiotik telah banyak ditemukan di sebagian besar negara Asia Timur dan Asia Tenggara (Anh *et al.* 2020). Menurut Rodriguez-Mozaz *et al.* (2020) senyawa siprofloksasin, *azithromycin*, dan sefalekssin merupakan senyawa indikator pencemaran residu antibiotik di suatu perairan. Sifat kelarutan antibiotik dalam air yang tinggi dan sulit didegradasi oleh mikroba menyebabkan residu antibiotik mudah lepas ke perairan (Voigt *et al.* 2020). Sebagian besar negara Asia termasuk Indonesia belum memperhatikan ancaman yang ditimbulkan dari residu antibiotik (Mahmood *et al.* 2019). Pengelolaan yang tepat dan efisien diperlukan untuk mengeliminasi residu antibiotik pada air limbah rumah sakit.

Pengolahan air limbah sangat bervariasi dengan berbagai teknik yang ada, tergantung dari luas lahan, biaya pengolahan, dan juga sumber daya manusianya. Metode pengolahan air limbah rumah sakit yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah sistem biologis seperti biofilter aerob-anaerob (Kerubun 2014), sistem lumpur aktif (Waang *et al.* 2016), dan kombinasi proses klorinasi biologis (Prayitno *et al.* 2018). Metode ini dinilai lebih efisien dalam menurunkan cemaran biologis yang banyak terdapat pada limbah cair rumah sakit (Misgiono *et al.* 2014). Akan tetapi, menurut Verlicchi *et al.* (2012) sistem pengolahan air limbah menggunakan metode tersebut masih belum efisien dalam mengeliminasi kandungan residu antibiotik.

Kombinasi pengolahan air limbah merupakan alternatif solusi yang telah ditawarkan (Parida *et al.* 2022). Metode adsorpsi (Zeng *et al.* 2019) dan proses oksidasi lanjutan (Yi-di Chen *et al.* 2021) dianggap sebagai teknologi yang paling efisien untuk menghilangkan residu antibiotik dalam air limbah (Liu *et al.* 2019). Berbagai adsorben juga telah dikembangkan, seperti bentonit (Genç *et al.* 2013), adsorben berbasis karbon (Karthik dan Saraswathy 2015), *organoclay* (De Oliveira



et al. 2018), kaolin (Song *et al.* 2019), logam-logam oksida (Malakootian *et al.* 2019), *metal organic framework* (Zango *et al.* 2020), polimer resin (Rivas *et al.* 2020), dan silika-*clay* nanokomposit (Levard *et al.* 2021). Akan tetapi, adsorben berbasis biomassa dinilai lebih menjanjikan (Sharma *et al.* 2020), ramah lingkungan (Varma 2019), dan ekonomis (Schultz *et al.* 2020).

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi besar dalam mengembangkan adsorben berbasis limbah biomassa. Menurut Putera *et al.* (2019) produksi biomassa Indonesia sekitar 146,7 miliar ton/tahun. Selain itu, limbah biomassa yang ada memiliki tingkat keragaman struktur dan komposisi yang bervariasi. Masyarakat desa merupakan penghasil biomassa terbesar, terutama limbah biomassa hasil pertanian. Sejauh ini, limbah tersebut hanya dibakar, sehingga menyebabkan polusi udara. Padahal pemanfaatan limbah biomassa menjadi adsorben serbaguna seperti karbon aktif dapat meningkatkan nilai ekonominya (Bhomick *et al.* 2017). Selain dapat digunakan sebagai adsorben air limbah, pemanfaatan limbah biomassa ini juga menekankan pada pemanfaatan material lokal dalam menyelesaikan masalah lokal.

Karbon aktif merupakan adsorben yang dapat digunakan sebagai penjerap residu antibiotik. Pouretedal dan Sadegh (2014) menunjukkan kemampuan karbon aktif yang secara efektif menjerap residu antibiotik jenis amoksisilin, sefaleksin, tetrasiklin, dan penisilin di dalam air. Menurut Zhang *et al.* (2016) karbon aktif merupakan adsorben yang superior dalam menjerap antibiotik, karena semua jenis antibiotik dapat dijerap dengan tingkat efisiensi di atas 99%. Namun, pemanfaatan karbon aktif sebagai adsorben terbatas hanya sekali menjerap serta memiliki kinerja adsorpsi yang berbeda, tergantung dari biomassa yang digunakan dan proses pembuatannya. Adanya inovasi dengan pembuatan komposit diharapkan mampu memperbaiki kekurangan karbon aktif.

Penggabungan karbon aktif dengan oksida logam seperti besi oksida dapat mengantisipasi kekurangan yang terdapat pada karbon aktif. Menurut Zhou *et al.* (2020) keberadaan oksida logam dapat meningkatkan kapasitas penjerapan sekaligus berfungsi sebagai katalis dalam dekomposisi residu antibiotik. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2017) telah berhasil membuat komposit karbon aktif dengan TiO₂ sebagai penjerap dan pendekomposisi residu antibiotik melalui fotokatalis. Rai dan Singh (2018) membuat karbon aktif dari limbah plastik PET dan mengkompositkan dengan magnetit untuk meningkatkan empat kali kapasitas penjerapan terhadap sefaleksin. Komposit magnetit/karbon aktif yang dipadukan dengan metode *Response Surface Method* (RSM) untuk mencari kondisi optimum juga dapat menjerap seftriakson hingga 1,99 g/l dalam kondisi suhu ruang selama 90 menit (Yegane Badi *et al.* 2018). Adanya efisiensi penjerapan yang lebih tinggi dari komposit kombinasi karbon aktif dan oksida logam disebabkan oleh efek sinergis pada degradasi polutan (Wu *et al.* 2017). Penelitian ini akan memadukan besi oksida dengan karbon aktif yang memiliki gugus fungsi hidroksil dan karboksil pada permukaan (Fahmi *et al.* 2019) untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi sekaligus memiliki sifat dekomposisi terhadap residu antibiotik, sehingga dapat lebih efektif dan efisien dalam mengatasi masalah pencemaran akibat residu antibiotik di perairan (Gambar 1.1).



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

1.2 Rumusan Masalah

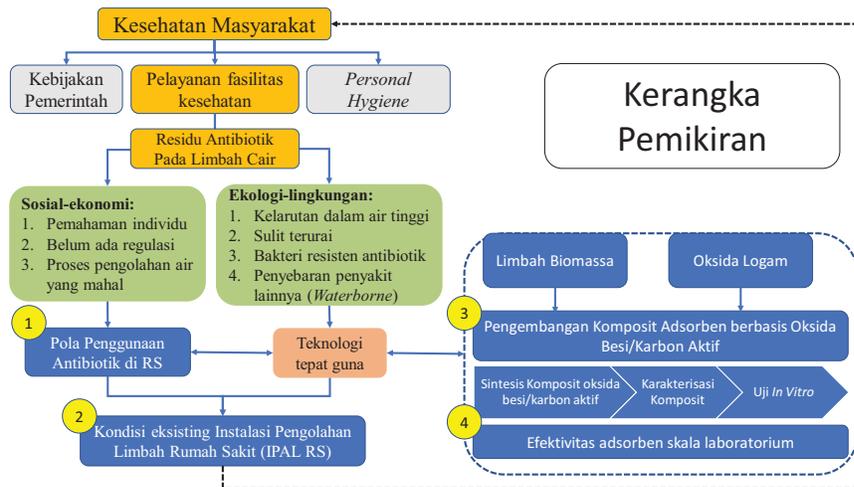
Pelayanan kesehatan di rumah sakit tidak hanya memberikan manfaat dalam mengobati orang sakit, melainkan dapat menimbulkan masalah lain berupa limbah yang dihasilkan. Limbah medis tergolong dalam kategori bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga berpotensi terhadap kesehatan manusia dan lingkungan di sekitar lokasi pembuangan. Karakteristik limbah yang bersumber dari pelayanan kesehatan antara lain limbah domestik sebanyak 85%, infeksius 10%, dan sisanya limbah bahan kimia, obat, dan sitotoksik yang tidak terpakai (WHO 2014). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit menyatakan bahwa limbah padat dan infeksius harus dikelola dengan menggunakan insinerator. Adapun air limbah dan/atau limbah cair menggunakan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL). Selain itu, pada peraturan yang sama, limbah tersebut wajib dikelola secara mandiri oleh rumah sakit atau bekerjasama dengan pihak ketiga yang memiliki izin.

IPAL yang dimiliki oleh rumah sakit tidak dirancang untuk mengolah limbah yang mengandung obat-obatan. Hal tersebut disebabkan karena bahan kimia dan obat kadaluarsa yang tidak terpakai dimusnahkan bersamaan dengan limbah padat. Namun, urin dan feses pasien yang diterapi menggunakan obat dapat menghasilkan residu obat-obatan yang dikonsumsi oleh pasien termasuk antibiotik. Oleh sebab itu, air limbah domestik dari IPAL rumah sakit dapat mengandung kontaminan residu antibiotik (Chonova *et al.* 2016). Kandungan residu antibiotik pada air limbah rumah sakit sulit untuk dapat direduksi oleh sistem IPAL rumah sakit yang menggunakan sistem biologis, karena residu antibiotik bersifat racun bagi mikroba pengurai (Rivera-utrilla *et al.* 2013). Berdasarkan hal tersebut, maka perlu strategi khusus sebagai upaya meminimalisir pencemaran akibat residu antibiotik pada air limbah rumah sakit (Gracia-lor *et al.* 2012).

Residu antibiotik dapat mengakibatkan kerusakan jangka panjang, salah satunya resistensi bakteri (Sanderson *et al.* 2016). Penelitian lain yang dilakukan oleh Boursi *et al.* (2015) dan Prajwal *et al.* (2017) menunjukkan bahwa salah satu penyebab terjadinya penyakit kanker prostat dan kanker payudara disebabkan oleh residu antibiotik yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui air minum. Selain itu, residu antibiotik yang masuk ke dalam tubuh juga dapat memicu penyakit diabetes melitus (Mensah dan Ansah 2016). Kondisi ini ditambah dengan tidak adanya regulasi yang mengatur nilai ambang batas dari residu antibiotik pada air limbah rumah sakit. Berdasarkan kondisi permasalahan dan kajian studi sebelumnya terdapat beberapa pertanyaan penelitian, yaitu:

1. Bagaimana pola penggunaan antibiotik pasien rawat inap di rumah sakit?
2. Bagaimana kondisi eksisting pengolahan air limbah rumah sakit dan risiko ekotoksikologi akibat residu antibiotik pada air limbah rumah sakit?
3. Bagaimana metode sintesis dan karakterisasi komposit adsorben berbasis besi oksida/karbon aktif?
4. Bagaimana efektivitas komposit adsorben berbasis besi oksida/karbon aktif dalam menyerap dan dekomposisi residu antibiotik?





Gambar 1.1 Kerangka pemikiran pengembangan komposit besi oksida/karbon aktif dalam mengeliminasi dan dekomposisi residu antibiotik.

1.3 Tujuan

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengembangkan material adsorben berbasis karbon aktif yang diperkaya besi oksida untuk mengatasi residu antibiotik pada air limbah rumah sakit. Selain itu, adsorben yang dihasilkan dapat digunakan berulang sekaligus dapat dekomposisi residu antibiotik yang telah dijerap. Dalam mencapai tujuan utama tersebut, beberapa tujuan antara yang akan dicapai adalah:

1. Menganalisis pola penggunaan antibiotik pasien rawat inap di rumah sakit.
2. Menganalisis kondisi eksisting pengolahan air limbah rumah sakit dan risiko ekotoksikologi akibat residu antibiotik pada air limbah rumah sakit.
3. Mensintesis dan mencirikan komposit adsorben besi oksida/karbon aktif.
4. Mengevaluasi efektivitas komposit adsorben besi oksida/karbon aktif sebagai penjerap dan pendekomposisi residu antibiotik.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu memberikan rekomendasi perbaikan pengolahan air limbah rumah sakit di lokasi penelitian untuk mengatasi masalah lingkungan terutama dalam mengeliminasi residu antibiotik.
2. Menyediakan informasi metode sintesis komposit besi oksida/karbon aktif dengan memanfaatkan material lokal.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini memfokuskan pada potensi material lokal yaitu limbah daging inti kelapa sawit atau *Palm Kernel Meal* (PKM). Pola penggunaan antibiotik dan jumlah cemaran residu antibiotik berdasarkan data rekam medis tahun 2022 pada satu rumah sakit di Kota Metro, Lampung. Sementara itu,

observasi lapang dengan mengidentifikasi metode dan alur proses pengolahan air limbah, berdiskusi tentang pengelolaan dan kualitas air limbah yang dihasilkan. Aplikasi adsorpsi-dekomposisi residu antibiotik dilakukan pada skala laboratorium. Artifisial air limbah rumah sakit digunakan dengan menggunakan obat seftriakson (CFT) sebagai model residu antibiotik.

1.6 Kebaruan (*novelty*)

Karbon aktif merupakan adsorben yang serbaguna karena memiliki luas permukaan tinggi (Xu *et al.* 2017), mudah disintesis (Ratan *et al.* 2018), dan memiliki ketersediaan bahan baku melimpah (Muzarpar *et al.* 2020). Namun masih memiliki kekurangan, seperti tidak dapat digunakan berulang dan sulit dipisahkan dari larutan berair setelah digunakan. Penggabungan karbon aktif dengan material lain untuk membentuk komposit dapat menanggulangi masalah tersebut. Komposit oksida logam/karbon aktif dapat meningkatkan kemampuan degradasi dari adsorben setelah menjerap adsorbat (Zhang *et al.* 2017). Selain itu, dengan memanfaatkan sifat oksida logam seperti magnetit (besi oksida), komposit adsorben dapat lebih mudah dipisahkan dari larutan berairnya dan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi (Rai dan Singh 2018). Penggunaan metode *Response Surface Method* (RSM) juga telah digunakan untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi suatu komposit adsorben (Yegane Badi *et al.* 2018). Wu *et al.* (2018) telah mengembangkan komposit Ag/Besi oksida/Karbon aktif untuk meningkatkan laju adsorpsi. Komposit Besi (II dan III) oksida/Karbon aktif juga telah digunakan untuk mengadsorpsi antibiotik jenis tetrasiklin (Zhou *et al.* 2020). Akan tetapi, pendekatan pembuatan komposit masih belum menjelaskan keberadaan oksida logam dan mekanisme pembentukannya dengan karbon aktif. Selain itu, penggunaan komposit adsorben juga masih sedikit untuk menanggulangi masalah residu antibiotik dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi dalam keterulangan penggunaan.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dan tujuan penelitian yang akan dicapai, penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan pembentukan oksida logam di permukaan karbon aktif dan mekanisme pembentukannya. Selain itu, pengembangan komposit adsorben ini juga digunakan untuk mengatasi residu antibiotik pada air limbah rumah sakit, sehingga itu pada penelitian ini diperoleh kebaruan meliputi:

1. Komposit ferihidrit/karbon aktif yang disintesis secara kopresipitasi selama satu hari proses agitasi pada suhu 40 °C. Penambahan karbon aktif selama proses agitasi mengganggu pembentukan besi oksida jenis lainnya seperti *goethite*, sehingga yang terbentuk adalah ferihidrit. Adapun nano *goethite* yang berada pada supernatan mulai terbentuk di hari ke-14 selama proses agitasi.
2. Pemanfaatan material lokal yaitu limbah daging inti kelapa sawit (PKM) sebagai adsorben dalam menyelesaikan masalah lokal. Aplikasi komposit adsorben besi oksida/karbon aktif sebagai penjerap dan pendekomposisi residu antibiotik pada model air limbah rumah sakit memiliki potensi yang besar dalam perkembangan pemanfaatan material lokal untuk mewujudkan kemandirian lokal.

II METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua kegiatan yaitu kegiatan lapang dan kegiatan eksperimen di laboratorium. Kegiatan lapang dilakukan pada salah satu rumah sakit di Kota Metro, Lampung dan kegiatan eksperimen dilakukan di Laboratorium Kimia PPKU IPB dan Laboratorium Bersama Kimia, FMIPA IPB. Pengujian karakterisasi material adsorben dilakukan di beberapa laboratorium pengujian. Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Februari 2021 – April 2022.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi peralatan gelas dan instrumen. Peralatan gelas yang dimaksud antara lain cawan porselen, mortar, kertas saring whatman 40, pengaduk magnet, termometer, pH Universal, oven, dan mesin sentrifugal (Hermle Labnet Z 206 A, Wehingen, Jerman). Alat instrumen yang digunakan seperti spektrofotometer UV-Vis (Libra S11, Cambridge, UK) di Laboratorium Kimia PPKU IPB, spektrofotometer transformasi fourier inframerah (*Fourier Transform Infrared/FTIR*) (Perkin Elmer Spectrum One, Massachusetts, USA) di Laboratorium Bersama, Departemen Kimia IPB, spektrofotometer difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction/XRD*) (Bruker D8, Texas, USA) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor, mikroskop pemindai elektron (*Scanning Electron Microscope/SEM*) (JEOL JSM-IT 300, Tokyo, Jepang) di Laboratorium SEM EDS UPP Chevron, Departemen Teknik Geologi ITB. Laptop ASUS 312 dengan aplikasi *microsoft excel* dan *microsoft word* digunakan untuk mengolah data. Adapun aplikasi *ChemDraw* dan *OriginLab* digunakan untuk memvisualisasi data laboratorium.

Bahan yang digunakan terbagi menjadi bahan utama dan bahan pendukung. Bahan utama penelitian ini adalah limbah biomassa PKM. Adapun untuk bahan pendukung meliputi akuades, etanol (teknis), *glasswool* merk R9, biru metilena, iodine, hidrogen peroksida (Merck, Darmstadt, Jerman), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (teknis), NaOH (teknis), dan senyawa obat antibiotik (seftriakson).

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan observasi lapang dan mengumpulkan data sekunder untuk mengetahui pola penggunaan antibiotik pasien rawat inap pada salah satu rumah sakit di Kota Metro, Lampung. Metode pengumpulan data dilakukan secara *cross-sectional retrospektif* studi dari rekam medis selama tahun 2020. Studi tersebut mencakup semua antibiotik yang diresepkan untuk pasien rawat inap oleh pediatri dan dianalisis berdasarkan kelompok antibiotik, jenis, durasi penggunaan, bentuk sediaan, dan dosis. Metode *ATC/DDD* dan *DU90%* digunakan untuk mengidentifikasi tingkat rasionalitas secara kuantitatif (Kemenkes 2011; WHO 2022). Setelah itu, dilakukan perhitungan jumlah penggunaan antibiotik untuk segala jenis usia. Jumlah konsentrasi yang



mungkin terdapat di lingkungan dihitung berdasarkan tingkat laju ekskresi dari setiap jenis antibiotik (Hoffmann 2021). Penelitian tahap ini sudah melalui tahap laik etik dari komisi etik rumah sakit (Lampiran 1).

Tahap kedua adalah observasi lapang terkait IPAL rumah sakit. Data yang diamati mencakup jenis, metode pengolahan yang digunakan, jumlah air limbah, dan analisis parameter baku mutu air limbah rumah sakit. Evaluasi fasilitas dan kondisi eksisting IPAL dilakukan berdasarkan ketentuan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Studi literatur tentang efisiensi IPAL sistem biologis yang diterapkan pada lokasi penelitian digunakan dalam perhitungan risiko ekotoksikologi. Metode perkiraan risiko ekotoksikologi dengan menghitung rasio prediksi konsentrasi lingkungan (*Predicted Environmental Concentration/PEC*) dengan konsentrasi tanpa efek yang diprediksi (*Predicted no-effect Concentration/PNEC*) untuk tiga kategori organisme akuatik (alga, invertebrata, dan ikan). Nilai PEC dihitung dengan data yang diperoleh dari tujuan pertama, sedangkan nilai PNEC diperoleh dari studi literatur. *Risk quotient* (RQs) merupakan nilai perbandingan antara PEC dengan PNEC. Nilai RQs yang lebih dari satu menunjukkan adanya risiko ekotoksikologi, sedangkan jika nilai berada di bawah satu tidak terjadi risiko ekotoksikologi (Iatrou *et al.* 2014).

Tahap ketiga adalah mensintesis komposit adsorben besi oksida/karbon aktif. Limbah biomassa PKM dikonversi menjadi karbon aktif dengan menggunakan metode pirolisis *glasswool* (Fahmi *et al.* 2019). Karbon aktif yang terbentuk dicirikan berdasarkan SNI 06-3730-1995. Setelah itu dilakukan penggabungan dengan metode kopresipitasi (Kharisma *et al.* 2019). Komposit besi oksida/karbon aktif dicirikan luas permukaannya menggunakan metode semi-kuantitatif berdasarkan penyerapan biru metilena, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk melihat keberadaan gugus fungsi permukaan, *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan kristalinitas dan keberadaan besi oksida berdasarkan sudut difraksi 2θ , dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat morfologi dari komposit serta *Particle Size Analysis* (PSA) untuk mengidentifikasi ukuran partikel dari material yang terbentuk. Selain itu, karakterisasi komposit terpilih juga dilakukan untuk mengetahui sifat fisika-kimia komposit.

Tahap akhir penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas dan kinerja komposit yang telah dibuat pada tujuan ketiga. Metode adsorpsi dan dekomposisi melalui reaksi *Fenton-like* digunakan untuk mengevaluasi kinerja komposit tersebut. Senyawa antibiotik yang akan digunakan merupakan input dari tujuan satu dan dua yaitu antibiotik jenis seftriakson. Pada tahap ini, variasi konsentrasi dan suhu dilakukan pada proses adsorpsi untuk melihat karakteristik proses adsorpsi yang terjadi. Adapun dalam proses dekomposisi konsentrasi peroksida (H_2O_2) divariasikan untuk memperoleh kondisi optimum dekomposisi. Selain itu, kemampuan regenerasi komposit juga menjadi salah satu faktor yang digunakan dalam melihat kinerja komposit (Lima *et al.* 2020).

2.4 Jenis, Sumber dan Analisis Data

Matriks tujuan, jenis data, teknik pengumpulan data, metode analisis, dan keluaran yang diharapkan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Matrik pencapaian tujuan penelitian

No	Tujuan	Jenis data	Metode analisis	Hasil yang diharapkan
1	Menganalisis pola penggunaan antibiotik pada pasien rawat inap di rumah sakit	Data primer: Semua antibiotik yang diresepkan untuk pasien rawat inap.	Metode <i>ATC/DDD</i> dan <i>DU90%</i> (Kemenkes 2011; WHO 2022)	Pola penggunaan antibiotik pasien rawat inap di rumah sakit
2	Menganalisis kondisi eksisting pengolahan air limbah dan perkiraan kerusakan ekotoksikologi yang disebabkan oleh residu antibiotik	Data sekunder: Sistem pengolahan air limbah dan perkiraan risiko ekotoksikologi residu antibiotik pada air limbah	Analisis deskriptif kualitatif dan <i>Ecological Structure Activity Relationships Program/ ECOSAR</i> (US EPA 1990)	Kondisi eksisting dan perkiraan risiko ekotoksikologi residu antibiotik pada air limbah
3	Mensintesis komposit adsorben besi oksida/karbon aktif	Data Primer: Pengujian di Laboratorium tentang karakteristik bahan	Metode pirolisis dan kopresipitasi, karakterisasi menggunakan PSA, FTIR, XRD, SEM, sifat fisikokimia (Fahmi <i>et al.</i> 2019; Kharisma <i>et al.</i> 2019)	Komposit adsorben
4	Mengevaluasi efektivitas kinerja komposit sebagai penjerap dan pendekomposisi residu antibiotik	Data primer: Pengujian di Laboratorium tentang efektivitas kinerja adsorben dalam menjerap dan dekomposisi residu antibiotik	Metode <i>batch</i> adsorpsi dan <i>Advanced Oxidation Processes</i> (AOPs) (Bhandari dan Gogate 2017; Lima <i>et al.</i> 2020)	Kinerja komposit adsorben

@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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

