

MODIFIKASI ZEOLIT X MENGGUNAKAN TEMBAGA MELALUI REAKSI SEPERTI-TOLLENS DAN LANGSUNG SEBAGAI PENJERAP DAN SENYAWA ANTIBAKTERI

HASANUDDIN RIZAL



PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Modifikasi Zeolit X Menggunakan Tembaga Melalui Reaksi Seperti-Tollens dan Langsung Sebagai Penjerap dan Senyawa Antibakteri” 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, Agustus 2023

Hasanuddin Rizal
G451190221



Goal Kita untuk IPB University

Hasil Kerja Tim/strategi/Usaha yang sedang

1. Dihasilkan sebagai salah satu indikator bahwa telah tercapai pencapaian/omzet dan peningkatan jumlah :

- a. Peningkatan jumlah artikel kepenelitian sendiri/dikaji, seminar/lokakarya, publikasi karya ilmiah, penemuan-penemuan, penemuan kritis atau terapan untuk masalah
 - b. Peningkatan tidak tercapainya kepedidikan yang wajar (IPB, UIN/Ar-Raniry)
2. Dihasilkan menggunakan dan meningkatkan selangun atau sumber daya lain yang telah terdapat di antara anggota tim (IPB, UIN/Ar-Raniry)

RINGKASAN

HASANUDDIN RIZAL. Modifikasi Zeolit X Menggunakan Tembaga Melalui Reaksi Seperti-Tollens dan Langsung Sebagai Penjerap dan Senyawa Antibakteri. Dibimbing oleh ZAENAL ABIDIN and NURUL HIEDAYATI.

Kualitas udara yang buruk di fasilitas umum dapat mempengaruhi kualitas hidup masyarakat. Hal ini disebabkan oleh polusi bau. Adsorpsi merupakan salah satu cara untuk mengendalikan pencemaran bau dengan proses yang sederhana, konsumsi energi yang rendah, dan efisiensi yang tinggi. Zeolit banyak digunakan sebagai adsorben dan telah banyak dikembangkan. Pengembangan zeolit dilakukan dengan cara mengganti kation yang ada pada zeolit. Karakteristik zeolit yang dapat larut dalam asam menyebabkan modifikasi zeolit dengan logam dapat merusak zeolit itu sendiri. Metode reaksi Tollens yang umum digunakan dalam pembuatan cermin perak merupakan metode yang melibatkan logam kondisi basa sehingga memungkinkan untuk modifikasi zeolit. Akan tetapi, perak memiliki harga yang mahal sehingga akan sulit bersaing di pasar. Maka dari itu, tembaga dipilih untuk menggantikan perak pada metode reaksi Tollens sehingga metode menjadi disebut reaksi seperti-Tollens.

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi zeolit X (X-Na) menggunakan tembaga dengan dua cara, yaitu melalui reaksi seperti-Tollens (X-Cu₂O) dan reaksi langsung dengan larutan tembaga nitrat (X-Cu). Hal ini dilakukan untuk melakukan perbandingan antara kedua metode modifikasi zeolit. Kedua proses modifikasi menghasilkan serbuk berwarna kecokelatan dan biru muda. Selanjutnya kedua serbuk dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. Karakteristik X-Cu₂O tidak terlalu berbeda dengan X-Na, sedangkan X-Cu memiliki karakteristik yang berbeda dengan X-Na.

Zeolit hasil modifikasi diuji coba sebagai adsorben dengan menggunakan amonia sebagai adsorbatnya. X-Cu memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan X-Cu₂O dan X-Na. Hal ini dikarenakan oleh proses dealuminasi zeolit X oleh larutan tembaga nitrat yang bersifat asam sehingga sisi aktif dari zeolit X terbuka. Sisi aktif yang terbuka ini akan mengikat adsorbat lebih banyak. Selanjutnya, sampel diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri gram-negatif (*E. coli*) dan gram-positif (*S. aureus*). Aktivitas antibakteri terbaik dimiliki oleh X-Cu sedangkan X-Cu₂O dan X-Na tidak memiliki aktivitas antibakteri sama sekali. X-Cu₂O tidak memiliki aktivitas antibakteri dikarenakan jumlah Cu₂O yang sedikit pada zeolit X.

Kata kunci: adsorpsi amonia, modifikasi zeolit, polusi, reaksi seperti-Tollens, zeolit X

SUMMARY

SANUDDIN RIZAL. Modification of Zeolit X With Copper Through Tollens-like and Direct Reaction as Adsorbent and Antibacterial Compound. Supervised by ENAL ABIDIN and NURUL HIEDAYATI.

Poor air quality in public facilities can affect people's quality of life. This is caused by odor pollution. Adsorption is one way to control odor pollution with a simple process, low energy consumption, and high efficiency. Zeolite is widely used as an adsorbent and has been widely developed. The development of the zeolite is carried out by replacing the cations present in the zeolite. The characteristic of zeolite which can dissolve in acids causes modification of zeolite with metal which can change the zeolite itself. The Tollens reaction method which is commonly used in the manufacture of silver mirrors is a method involving metal in alkaline conditions that it allows for zeolite modification. However, silver has a high price so it will be difficult to compete in the market. Therefore, copper was chosen to replace silver in the Tollens reaction method so that the method became known as the Tollens-like reaction.

In this research, modification of zeolite X (X-Na) using copper was carried out in two ways, namely through a Tollens-like reaction (X-Cu₂O) and direct reaction with copper nitrate solution (X-Cu). This is done to make a comparison between the two zeolite modification methods. Both modification processes produce brown and light blue powders. Furthermore, both powders were characterized using FTIR, XRD, and SEM. The characteristics of X-Cu₂O are not too different from X-Na, while X-Cu has different characteristics from X-Na.

The modified zeolite was tested as an adsorbent using ammonia as the adsorbent. X-Cu has a better adsorption ability than X-Cu₂O and X-Na. This is due to the process of dealumination of zeolite X by an acidic copper nitrate solution so that the active side of zeolite X is exposed. This open active side will bind more adsorbate. Next, the samples were tested for their antibacterial activity against gram-negative (*E. coli*) and gram-positive (*S. aureus*) bacteria. The best antibacterial activity was owned by X-Cu while X-Cu₂O and X-Na had no antibacterial activity at all. X-Cu₂O has no antibacterial activity due to the small amount of Cu₂O in zeolite X.

Keywords: ammonia adsorption, pollutions, tollens-like reaction, zeolite modification, zeolite X



Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip atau sebagian atau seluruhnya karya ini tanpa mencantumkan atau 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 ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023
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.

**MODIFIKASI ZEOLIT X MENGGUNAKAN TEMBAGA
MELALUI REAKSI SEPerti-TOLLENS DAN LANGSUNG
SEBAGAI PENJERAP DAN SENYAWA ANTIBAKTERI**

HASANUDDIN RIZAL

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Kimia

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**



Misi Cipta Jilindaraji Unzangurandang

1. Dihasilkan sebagai salah satu pilar dari terwujudnya visi misi IPB sebagai pencipta, pemelihara, dan pengembang sumber daya manusia yang unggul dan berprestasi
- a. Berprestasi sebagai salah satu pilar keunggulannya, yaitu: berprestasi sebagai lembaga, berprestasi sebagai individu, berprestasi sebagai organisasi, berprestasi sebagai masyarakat
- b. Berprestasi sebagai salah satu pilar keunggulannya yang unggul IPB, berprestasi sebagai individu, berprestasi sebagai organisasi, berprestasi sebagai masyarakat
2. Dihasilkan sebagai sumber daya manusia yang unggul dan berprestasi sebagai salah satu pilar keunggulannya yang unggul IPB, berprestasi sebagai individu, berprestasi sebagai organisasi, berprestasi sebagai masyarakat

Uji Tesis Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Sri Sugiarti, M.Si.



Goal Kita untuk IPB University

Hasil Kerja Mahasiswa/Umumnya adalah:

1. Dihasilkan sebagai salah satu jejaring yang ada yang dapat memunculkan dan memotivasi sumber :
 - a. Berprestasi sebagai salah satu kesatuan sumber daya, inovasi, perbaikan kerja ilmiah, pemaksimalan laporan, implementasi kritis atau tinggikan suatu masalah
 - b. Berprestasi tidak mengabaikan kepedulian yang wajar IPB University.
2. Dihasilkan menggunakan dan meningkatkan sebagai salah satu jejaring yang ada dalam lingkup apapun yang ada IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Januari 2020 sampai Juli 2023 ini ialah Ilmu Keteknikan, Teknologi Informasi, dan Perencanaan, dengan judul “Modifikasi Zeolit X Menggunakan Tembaga Melalui Reaksi Seperti-Tollens dan Langsung Sebagai Penjerap dan Senyawa Antibakteri”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr. dan dr. Nurul Hidayati, Ph.D. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr. yang telah memberikan rekomendasi dalam SUIJI-JP Master sehingga penulis berkesempatan melakukan penelitian di Ehime University, Prof. Naoto Matsue selaku dosen pembimbing, Erni Johan, Salma Sadia, dan Veronica Americo Antonio Fernando yang telah banyak membantu selama di Ehime University. Selain itu, terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Irma Isnafia Arief, S.Pt., M.Si., beserta Reza Adiyoga, Elfa Aida Kamila, Naufal Razaan, dan Pramudio Pakerti yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, adik dan kakek yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

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

Bogor, Agustus 2023

Hasanuddin Rizal



Goal Kita untuk IPB University

Halaman 11 dari 11 | Universitas Indonesia

1. Diambil dari berbagai sumber, tulislah beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses penelitian berikut :

- Penggunaan bahasa untuk menyampaikan pendapat, analisis, penalaran, kerangka ilmiah, penyusunan laporan, pembuatan tesis atau proposal untuk masalah.
- Penggunaan tidak etis yang berkaitan dengan yang wajar IPB University.

2. Diambil dari berbagai sumber dan penelitian yang relevan, tulislah beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penelitian yang akan dilakukan oleh IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	XIV
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	XIV
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II METODE	3
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	3
2.2 Alat dan Bahan	3
2.3 Prosedur Kerja	3
2.4 Analisis data	5
III HASIL DAN PEMBAHASAN	6
3.1 Modifikasi Zeolit X	6
3.2 Identifikasi Karakteristik Sampel	8
3.3 Kapasitas Adsorpsi Sampel	11
3.4 Aktivitas Antibakteri Sampel	14
IV SIMPULAN DAN SARAN	15
4.1 Simpulan	15
4.2 Saran	15
DAFTAR PUSTAKA	16
LAMPIRAN	19
RIWAYAT HIDUP	24

DAFTAR GAMBAR

Hasil modifikasi zeolit X	6
Tembaga oksida hasil sintesis melalui reaksi seperti-Tollens	7
Spektrum FTIR dari Cu ₂ O, X-Na, X-Cu ₂ O, dan X-Cu	9
Spektrum XRD dari X-Na, X-Cu ₂ O, dan X-Cu	9
Foto SEM dengan perbesaran 10.000 kali, A) Cu ₂ O, B) X-Na, C) X-Cu ₂ O, dan D) X-Cu	10
Grafik Isoterm Langmuir hubungan antara Jumlah Amonium yang Terjerap (mg/g) dan Konsentrasi Amonium Setimbang (mM)	11
Struktur kompleks Cu ₂ (OH) ₃ NO ₃	12
Grafik Isoterm Langmuir hubungan antara Jumlah Amonia yang Terjerap (mg/g) dan Tekanan (atm)	13

DAFTAR LAMPIRAN

Tabung modifikasi untuk adsorpsi amonia	20
Tahapan modifikasi zeolit X menggunakan tembaga melalui reaksi seperti-Tollens	21
Spektrum FTIR kompleks Cu ₂ (OH) ₃ NO ₃	22
Foto hasil uji aktivitas antibakteri sampel pada <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	23

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran bau merupakan masalah lingkungan yang serius terhadap kualitas udara. Fasilitas umum dengan kualitas udara yang buruk dapat mempengaruhi kualitas hidup masyarakat. Pada konsentrasi tertentu, bau dapat memberikan dampak mental dan fisik yang berbahaya bagi masyarakat (Hu *et al.* 2019). Bau terdiri dari berbagai komponen kimia. Salah satunya adalah amonia (NH_3) yang berasal dari limbah domestik dan industri peternakan. Senyawa amonia memiliki wujud gas yang tidak berwarna serta sifat yang beracun dan korosif. Konsentrasi amonia dalam air yang tinggi dapat menyebabkan penurunan tajam oksigen terlarut di perairan alami dan toksisitas terhadap organisme akuatik (Kucic *et al.* 2012). Penelitian telah menunjukkan bahwa kesehatan hewan dan produktivitas hewan juga berkaitan dengan konsentrasi amonia di lingkungan ternak (Vitzthum *et al.* 2016). Oleh karena itu, upaya penanggulangan masalah bau tak sedap dalam rangka menjaga kualitas lingkungan sangat diperlukan. Berbagai macam pendekatan untuk pengendalian bau telah dikembangkan, seperti proses membran, teknik penyerapan bahan kimia konvensional, pendekatan penyerapan modern dengan cairan ionik, hingga proses penyerapan menggunakan berbagai adsorben (Adelodun *et al.* 2017). Adsorpsi memiliki banyak keuntungan seperti operasi proses yang sederhana, konsumsi energi yang rendah dan efisiensi penghilangan yang tinggi (Zhu *et al.* 2019).

Terdapat banyak bahan penjerap atau adsorben yang sudah dikembangkan, seperti arang aktif, silika, dan zeolit. Pada penelitian ini, zeolit X yang merupakan zeolit buatan/sintetik dipilih karena memiliki nilai kapasitas tukar kation yang tinggi. Walaupun demikian, kemampuan zeolit sebagai penjerap bau tidak lebih baik dibandingkan dengan arang aktif. Zeolit sendiri jenisnya terbagi menjadi zeolit alami (Kotoulas *et al.* 2019), buatan (Ye *et al.* 2016), dan modifikasi. Zeolit termodifikasi dan sintetik memiliki kelebihan dalam hal kemurnian, ukuran pori yang seragam, dan kemampuan pertukaran ion yang lebih baik daripada zeolit alam (Fanta *et al.* 2019). Modifikasi zeolit sudah banyak dilakukan, salah satunya dilakukan modifikasi dengan logam perak melalui reaksi tollens untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit dan sebagai agen antibakteri (Budtri *et al.* 2012). Reaksi tollens merupakan reaksi yang umum digunakan untuk sintesis perak yang melibatkan reagen Tollens $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ sebagai sumber perak dan aldehida sebagai reduktor (Yin *et al.* 2002). Namun, perak memiliki harga yang mahal sehingga tembaga digunakan sebagai alternatif perak pada reaksi tollens untuk memodifikasi zeolit. Hasil modifikasi zeolit X ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dari zeolit.

Kemampuan adsorpsi dari zeolit X termodifikasi dan zeolit X diuji menggunakan amonia. Amonia dipilih karena memiliki sifat volatil sehingga adsorpsi amonia bisa dilakukan dalam bentuk cair (NH_4^+) maupun bentuk gas (NH_3). Pada penelitian ini, adsorpsi amonia dilakukan pada gas maupun cairan. Adsorpsi pada fase cair dilakukan untuk mengetahui kemampuan penjerap saat berinteraksi langsung pada sumber pencemar. Di lain sisi, adsorpsi pada fase gas dilakukan untuk mengetahui kemampuan penjerap untuk mengurangi bau pada udara. Pada uji penjerapan digunakan penjerap pembanding, yaitu mordenit-H dan

tonit-H. Selama proses adsorpsi zeolit X termodifikasi oleh tembaga akan memiliki aktivitas antibakteri (Ma dan Hou 2022). Aktivitas antibakteri dapat menekan pertumbuhan bahkan menghilangkan keberadaan bakteri selama proses orpsi menggunakan zeolit X termodifikasi oleh tembaga.

Rumusan Masalah

Bau merupakan masalah yang dapat mengganggu kualitas hidup dari khluk hidup. Daerah yang memiliki bau tidak sedap merupakan daerah yang derung jorok sehingga tidak lepas dari keberadaan bakteri. Zeolit merupakan an yang umum digunakan sebagai penjerap. Namun, zeolit tidak memiliki sifat ibakteri sehingga perlu dimodifikasi menggunakan tembaga. Modifikasi zeolit kukan dengan dua cara, yaitu reaksi seperti-Tollens dan reaksi langsung dengan itan tembaga nitrat. Zeolit X hasil modifikasi dilakukan uji adsorpsi terhadap onia dan uji antibakteri pada bakteri gram-positif dan gram-negatif.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan memodifikasi zeolit X menggunakan tembaga lalui reaksi seperti-Tollens dan reaksi langsung dengan larutan tembaga nitrat. anjutnya, mengidentifikasi karakteristik zeolit X dan hasil modifikasinya nggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning tron Microscope* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) serta mengidentifikasi nampuan adsorpsi zeolit X dan hasil modifikasi yang dibandingkan dengan Mor- lan Ben-H. Selain itu, dilakukan juga uji aktivitas antibakteri dari zeolit X dan il modifikasinya yang dibandingkan dengan larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0,5 M.

Manfaat

Hasil modifikasi zeolit X menggunakan tembaga memiliki biaya produksi g lebih rendah dibandingkan dengan perak. Keberadaan tembaga dapat nambahkan sifat antibakteri pada zeolit X termodifikasi sehingga dapat unakan sebagai bahan penjerap sekaligus bahan antibakteri ketika digunakan la pengolahan air.

II METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Departemen Sains Lingkungan Perairan dan Tanah, Universitas Ehime selama delapan bulan dimulai dari Februari hingga Agustus 2020 serta di Laboratorium Mikrobiologi Hasil Ternak Departemen Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor pada Juli 2022.

2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan, yaitu seperangkat alat gelas laboratorium, vial kaca 9 mL (As One), tabung sentrifuse modifikasi 50 mL (Lampiran 1), neraca analitik (Shimadzu), mikropipet (Nichipet EX), *hotplate* (Masuda HSM-60), *shaker* laboratorium (Taitec TS-10), sentrifuse (Kubota), oven (Fisher), gas sampling (Kitagawa Gastec GV-100S), tabung pendeteksi gas amonia (Kitagawa Gastec, No.3M NH₃), Spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-3500), mikroskop pemayar elektron (Hitachi S-800), *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (Jasco FT/IR-4100), dan *X-ray diffraction* (Rigaku Ultima IV XRD). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu zeolit X (Wako), Cu(NO₃)₂.3H₂O (Merck), akuades, etanol absolut (Merck), NaOH (Merck), NH₄OH (Merck), gula komersial (Lotte), Mordenit, Montmorilonit/Bentonit (Sigma), HNO₃ (Merck), NH₄Cl (Merck), pereaksi Indofenol biru, Kultur bakteri *E. coli* (ATCC 11229) dan *S. aureus* (ATCC 23235), media *Mueller Hinton Agar* (MHA) (Merck), *paper disc* (Oxodic), dan Akuabides steril.

2.3 Prosedur Kerja

2.3.1 Preparasi Zeolit X-Na

Sebanyak 5 gram zeolit X dibilas menggunakan 200 mL akuades sebanyak 3 kali. Supernatan dan endapan dipisahkan menggunakan sentrifuse dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit. Kemudian endapan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105 °C. Endapan yang diperoleh disebut sebagai X-Na

2.3.2 Modifikasi Zeolit X Melalui Reaksi Seperti-Tollens (X-Cu₂O)

Prekursor tembaga berupa Cu(NO₃)₂.3H₂O 2,5 mM disiapkan sebanyak 80 mL dalam gelas piala 250 mL dan ditambahkan sebanyak 2 g X-Na secara perlahan dalam kondisi diaduk dengan pengaduk magnet. Kemudian sebanyak 40 mL NaOH 0,4 M dan 40 mL NH₄OH 10 mM ditambahkan ke dalam gelas piala tersebut. Selanjutnya, ditambahkan sebanyak 40 mL gula komersial 37% dan kemudian dipanaskan pada penangas air dengan suhu lebih dari 80 °C selama 30 menit. Gelas piala berisi larutan campuran kemudian dipindahkan dan dibiarkan pada suhu ruang hingga mencapai suhu ruang. Supernatan dan endapan dipisahkan menggunakan sentrifuse dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit. Supernatan dibuang sedangkan endapan dibilas menggunakan etanol sebanyak sekali dan akuades sebanyak 3 kali lalu

dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105 °C. Serbuk yang diperoleh disebut sebagai X-Cu₂O.

2.3.3 Modifikasi Zeolit X Melalui Reaksi Langsung dengan Tembaga Nitrat (X-Cu)

Sebanyak 5 gram zeolit X dan 200 mL Cu(NO₃)₂.3H₂O 0,5 M dimasukkan ke dalam botol plastik serta dihomogenkan. Botol plastik yang berisi zeolit dan akuades dikocok menggunakan shaker laboratorium pada kecepatan 200 rpm selama 3 jam. Kemudian botol disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit dan supernatannya di buang. Endapan yang diperoleh direaksikan lagi dengan 200 mL Cu(NO₃)₂.3H₂O 0,5 M yang baru. Selanjutnya endapan dan supernatan dipisahkan kembali. Supernatan dibuang sedangkan endapan dibilas menggunakan akuades sebanyak 3 kali lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105 °C. Serbuk yang diperoleh disebut sebagai X-Cu.

2.3.4 Modifikasi Mordenit dan Bentonit dengan Asam Nitrat (Mor-H dan Ben-H)

Sebanyak 10 gram sampel (Mordenit dan Bentonit) dan 100 mL HNO₃ 0,2 M dimasukkan ke dalam botol plastik serta dihomogenkan (disiapkan sebanyak dua botol). Botol plastik yang berisi sampel dan akuades dikocok menggunakan shaker laboratorium pada kecepatan 200 rpm selama 1 jam. Kemudian botol disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit dan supernatannya di buang. Perlakuan diulangi mulai dari penambahan 100 mL HNO₃ 0,2 M sebanyak dua kali. Kemudian zeolit dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali, lalu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105 °C. Serbuk yang diperoleh disebut Mor-H untuk mordenit sedangkan Ben-H untuk bentonit.

2.3.5 Karakterisasi Sampel

Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. Sampel yang digunakan untuk identifikasi dengan FTIR dan SEM, yaitu Cu₂O, X-Na, X- Cu₂O, dan X-Cu. Sampel yang digunakan untuk identifikasi dengan XRD, yaitu X-Na, X- Cu₂O, dan X-Cu. Spektrum-spektrum FTIR dan XRD yang diperoleh dianalisis dengan melihat puncak-puncak yang ada. Selain itu, gambar-gambar SEM yang diperoleh dianalisis dengan melihat morfologi masing-masing sampel.

2.3.6 Adsorpsi Amonium

Masing-masing sampel disiapkan sebanyak 0,5 g ke dalam 5 buah botol plastik berbeda dan diberi label sesuai perlakuan. Sampel yang dimaksud, yaitu X-Na, X- Cu₂O, X-Cu, Mor-H, dan Ben-H. Sebanyak 50 mL NH₄OH (0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, dan 50 mM) ditambahkan ke dalam masing-masing botol plastik. Kemudian dikocok menggunakan shaker laboratorium selama 1, 2, 3, 4, dan 5 jam sesuai nomor label pada botol plastik. Setelah dikocok, supernatan diencerkan sebanyak 10 atau 100 kali berdasarkan konsentrasi NH₄OH yang digunakan dan kemudian disimpan untuk diukur kadarnya.

Labu takar 25 mL sebanyak 6 buah disiapkan untuk standar NH₄Cl dengan konsentrasi 0; 4,44; 8,88; 13,32; 17,76; 22,20; dan 26,64 µM. Sebanyak

1 mL supernatan tiap sampel dimasukkan ke dalam labu takar yang berbeda. Kemudian 6 mL reagen Indofenol ditambahkan ke dalam masing-masing labu takar lalu ditera dengan menggunakan akuades dan dihomogenkan. Absorbansi standar dan sampel dibaca menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 636 nm. Nilai absorbansi akan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi amonium.

2.3.7 Adsorpsi Amonia

Sebanyak 10 mg sampel masing-masing dimasukkan ke dalam 5 buah vial kaca 9 mL yang berbeda serta disiapkan vial kaca 9 mL kosong sebagai blanko dan diberikan label sesuai sampel. Sampel yang dimaksud, yaitu X-Na, X-Cu₂O, X-Cu, Mor-H, dan Ben-H. Kemudian vial kaca yang berisi sampel dimasukkan ke dalam tabung modifikasi, lalu mulut tabung diolesi dengan vaselin dan ditutup dengan rapat. Sebanyak 10, 20, dan 30 μ L NH₄OH 1 M diinjeksikan ke dalam tabung modifikasi blanko serta yang berisi sampel kemudian didiamkan selama 2 jam. Setelah 2 jam, NH₄OH 1 M menguap menjadi gas NH₃ di dalam tabung modifikasi dan diukur menggunakan gas sampling dan tabung pendeteksi gas amonia.

2.3.8 Uji Aktivitas Antibakteri Metode Difusi Cakram

Pengujian aktivitas antibakteri sampel dilakukan pada bakteri gram-negatif (*E. coli*) dan gram-positif (*S. aureus*) dengan metode difusi cawan dilakukan triplo. Kultur bakteri distandarisasi dengan membandingkan kekeruhan kultur bakteri dalam NaCl fisiologis dengan 0,5 *McFarland* yang setara dengan 10⁸ CFU/mL. Selanjutnya, dilakukan pengenceran hingga didapatkan kultur bakteri 10⁶ CFU/mL. Media MHA yang telah siap pada cawan kemudian diberikan 100 μ L kultur bakteri, lalu diratakan. Sampel sebanyak 0,8 g atau 10 μ L diletakkan pada *paper disc* yang sudah dibasahi akuabides steril sebanyak 17 μ L, lalu *paper disc* ditempelkan di atas agar yang telah disebar kultur bakteri. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk setiap sampel pada masing-masing gram bakteri. Cawan kemudian diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Selanjutnya diameter area penghambat (zona bening) diukur.

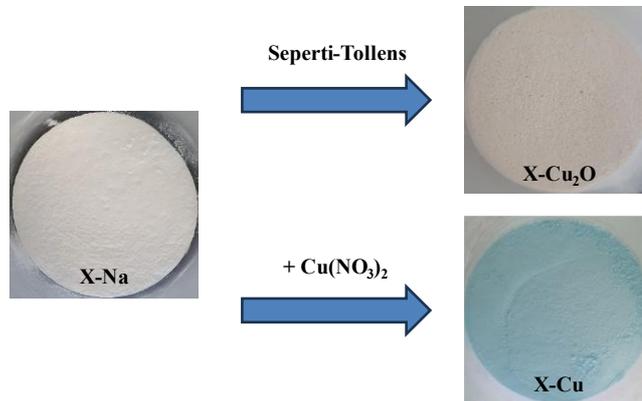
2.4 Analisis data

Data hasil uji aktivitas antibakteri yang dikerjakan triplo dihitung rerata dan standar deviasinya. Selanjutnya, Data uji aktivitas antibakteri diolah dengan analisis ragam (ANOVA). Apabila analisis menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap peubah yang diamati, maka dilanjutkan dengan uji *Tukey* untuk membandingkan perbedaan antar perlakuan.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi Zeolit X

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada zeolit X dengan dua cara. Pertama, zeolit X dimodifikasi dengan cara mereaksikannya dengan tembaga melalui reaksi seperti-Tollens. Pada modifikasi ini, zeolit yang diperoleh memiliki warna kekacokelatan disebut X-Cu₂O. Kedua, zeolit X dimodifikasi dengan cara reaksikannya langsung dalam larutan tembaga nitrat. Modifikasi ini menghasilkan zeolit yang memiliki warna biru muda disebut X-Cu. Sebelum modifikasi, zeolit X dibilas dengan akuades untuk membasil kation selain Na⁺ pada zeolit X sehingga disebut X-Na. Zeolit X memiliki wujud serbuk halus warna putih (Kim *et al.* 2018). Secara kasat mata, modifikasi zeolit X dengan dua cara tersebut menghasilkan senyawa berbeda dari zeolit X karena terjadi perubahan warna (Gambar 1).



Gambar 1 Hasil modifikasi zeolit X

Reaksi Tollens merupakan metode yang umum digunakan dalam pembuatan cermin melibatkan prekursor perak nitrat yang bereaksi dengan natrium hidroksida dan amonium hidroksida sehingga membentuk kompleks perak amina (1, 2, dan 3). Senyawa perak amina inilah yang disebut sebagai reagen Tollens yang akan direduksi oleh gugus pereduksi, yaitu gugus aldehida sehingga membentuk endapan perak (4). Gugus pereduksi yang umum digunakan pada pembuatan cermin adalah formaldehida.



Formaldehida merupakan senyawa kimia yang berbahaya dan termasuk dalam golongan senyawa organik volatil (Jia *et al.* 2021). Pada penelitian ini, kami mengganti formaldehida menggunakan gula pasir. Gula pasir dipilih karena mudah diperoleh dan memiliki gugus hidroksil yang berperan sebagai reduktor. Gula pasir yang digunakan pada reaksi merupakan gula pasir yang sudah dilarutkan dalam air menggunakan akuades dengan konsentrasi larutan 37% (b/v). Akan tetapi, penggunaan larutan gula sebagai pereduksi tidak lebih baik dibandingkan dengan

formaldehida. Hal ini dikarenakan faktor sterik gula jauh lebih besar dibandingkan formaldehida. Faktor sterik merupakan suatu kondisi yang menyebabkan terhambatnya reaksi yang disebabkan oleh ukuran molekul yang besar (Claude *et al.* 2022). Faktor sterik akan mempersulit gugus hidroksil untuk berinteraksi dengan senyawa perak pada kompleks perak amina. Maka dari itu, proses reduksi perlu diberikan perlakuan pemanasan untuk meningkatkan kecepatan reaksi reduksi perak amina menjadi perak oleh gula. Gula pasir merupakan sukrosa, yaitu disakarida yang mengandung glukosa dan fruktosa. Pemanasan dapat menyebabkan hidrolisis dari sukrosa untuk pembukaan struktur cincin pada glukosa dan fruktosa sehingga faktor sterik berkurang. Glukosa merupakan aldohexosa yang memiliki gugus H yang terikat langsung pada gugus C=O sehingga menyebabkan glukosa lebih mudah teroksidasi menjadi C-OH sedangkan fruktosa yang merupakan ketoheksosa tidak memilikinya (Thakur dan Karak 2015).



Pada penelitian ini perak digantikan oleh tembaga karena memiliki harga yang lebih ekonomis. Kompleks logam amina yang terlibat pada reaksi Tollens merupakan perak amina $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ diganti menjadi tembaga amina $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ sehingga reaksi disebut dengan reaksi seperti-Tollens. Reaksi antara tembaga amina dengan formaldehida sudah pernah dilakukan oleh Jusys dan Vaskelis (1992) (5). Perubahan kompleks logam amina ini akan berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk reduksi kompleks logam menjadi logam. Kompleks tembaga amina memiliki muatan 2+ sedangkan kompleks perak amina memiliki muatan 1+ sehingga proses reduksi kompleks tembaga amina membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan kompleks perak amina.



Gambar 2 Tembaga oksida hasil sintesis melalui reaksi seperti-Tollens

Secara termodinamis, hampir semua logam memiliki kecenderungan teroksidasi menjadi bentuk logam oksidanya. Hal ini dikarenakan proses oksidasi logam tergantung pada perubahan energi bebas Gibbs yang disebabkan oleh pembentukan oksida pada suhu tinggi. Secara umum, oksidasi termal merupakan proses yang kompleks, di mana oksida terbentuk di lingkungan beroksigen dengan suhu tinggi. Namun, terdapat oksidasi termal logam yang terjadi pada suhu kamar, yaitu ketika logam terkena oksigen atau udara sekitar sehingga lapisan tipis oksida terbentuk. Pertumbuhan oksida akan melambat dan secara efektif berhenti dalam beberapa nanometer karena terlalu sedikit energi atom oksigen untuk berdifusi melalui lapisan oksida asli yang sudah terbentuk pada suhu kamar (Choudhary *et al.* 2018). Maka dari itu, logam yang terbentuk pada reaksi Tollens atau seperti-Tollens merupakan oksida logam. Pada sintesis tembaga melalui reaksi seperti-Tollens menghasilkan padatan Cu_2O berwarna merah bata (Gambar 2).

Zeolit X merupakan zeolit sintetis yang memiliki warna putih. Modifikasi pertama adalah dengan cara reaksi seperti-Tollens. Proses modifikasi zeolit X



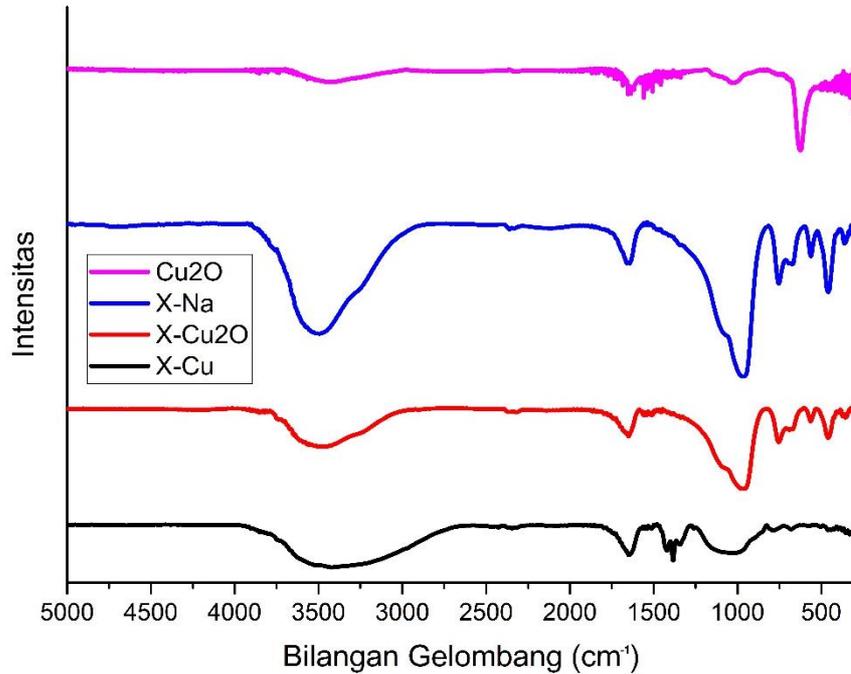
nggunakan tembaga melalui reaksi seperti-Tollens (Lampiran 2) dimulai dengan ncampurkan zeolit X ke dalam larutan tembaga nitrat 2,5 mM. Pada tahap ini, isentrasi Cu^{2+} yang rendah akan berinteraksi dengan zeolit X yang memiliki ion Na^+ sehingga terjadi pertukaran ion antara Na^+ dengan Cu^{2+} . Selanjutnya tambahan natrium hidroksida 0,4 M dan amonium hidroksida 10 mM sehingga $^{2+}$ yang terikat pada zeolit X akan menjadi kompleks tembaga amina $(\text{NH}_3)_4]^{2+}$. Zeolit X yang sudah mengikat $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ akan direduksi oleh itan gula 37% dengan bantuan pemanasan pada suhu lebih dari 80 °C hingga na larutan berubah menjadi kecokelatan. Endapan yang diperoleh terdapat nitrat i bersifat basa sehingga dibilas menggunakan etanol untuk menghilangkan sisa rat dan akuades hingga pH mendekati 7.

Modifikasi kedua adalah dengan cara mereaksikan zeolit X langsung dengan itan tembaga nitrat. Prosesnya dimulai dengan mencampurkan 5 g zeolit X ke am 200 mL larutan tembaga nitrat 0,5 M menghasilkan larutan berwarna biru da. Pada modifikasi ini, tembaga nitrat yang bersifat asam akan melarutkan lit atau lebih umum dikenal dengan istilah dealuminasi. Dealuminasi zeolit rupakan proses pelarutan gugus alumina yang dimiliki oleh zeolit. Proses ini n mempengaruhi kristalinitas zeolit bergantung seberapa lama interaksi yang langsung antara zeolit dan larutan asam (Manjunathan *et al.* 2015).

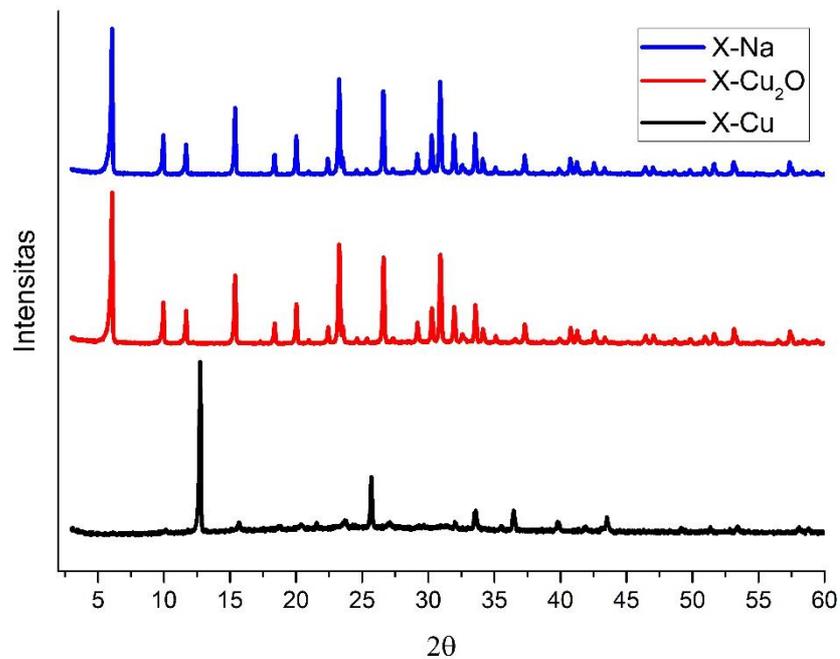
Identifikasi Karakteristik Sampel

Identifikasi menggunakan FTIR atau *Fourier Transform Infra Red* merupakan metode spektroskopi untuk mengetahui komposisi atom pada suatu an dari energi vibrasi ikatan antar atom pada bahan tersebut. Spektrum FTIR pnel yang dilakukan pada suhu ruang dapat dilihat pada Gambar 3. Pita lebar la 3800–3000 dan 1750-1600 cm^{-1} merupakan vibrasi regangan dan tekukan dari lekul air yang terjerap pada sampel. Gugus hidroksil pada zeolit terdiri dari tiga cam, yaitu Si-OH 3741–3739 cm^{-1} , Al-OH 3680–3673 cm^{-1} , dan -OH pada ercentage 3644–3629 cm^{-1} (Benaliouche *et al.* 2008). Pada Gambar 3, puncak- cak yang dimaksud tidak dapat dilihat dengan baik karena diperlukannya lakuan khusus. Perlakuan khusus yang dimaksud, yaitu menghilangkan kadar air la sampel sehingga pita pada 3741-3629 cm^{-1} dapat terlihat. Spektrum pita X-Na i X-Cu₂O memiliki perbedaan pada menurunnya intensitas pita. Hal ini ebabkan adanya perbedaan energi vibrasi yang dihasilkan oleh interaksi antar m dalam kedua sampel. Intensitas pita pada X-Cu₂O lebih rendah dibandingkan Na dikarenakan adanya Cu₂O yang menyebabkan turunnya energi vibrasi yang asilkan oleh X-Na pada X-Cu₂O.

Pada spektrum pita X-Cu memiliki bentuk spektrum yang berbeda dari X-Na, ihat munculnya pita pada 1500–1250 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ion nitrat etwally *et al.* 2019). Pada X-Cu juga terjadi penurunan intensitas pita pada 1250–) cm^{-1} vibrasi regangan simetrik dan asimetrik Si-O-Al (Benaliouche *et al.* 2008). ain itu, ada beberapa pita yang menghilang pada 800–400 cm^{-1} , yaitu vibrasi egangan simetris T-O-T 746 cm^{-1} , peregangan simetris T-O-T dari *double six gs* (D6R) 561 cm^{-1} , peregangan simetris Si-O-Si 668 cm^{-1} , dan pembengkokan etris T-O 460 cm^{-1} (Abidin *et al.* 2017). T yang dimaksud, yaitu Si atau Al. Hal menunjukkan bahwa pada X-Cu tidak hanya terjadi proses dealuminasi tetapi lapat juga Si yang hilang atau disebut desilikasi.



Gambar 3 Spektrum FTIR dari Cu_2O , X-Na, X- Cu_2O , dan X-Cu

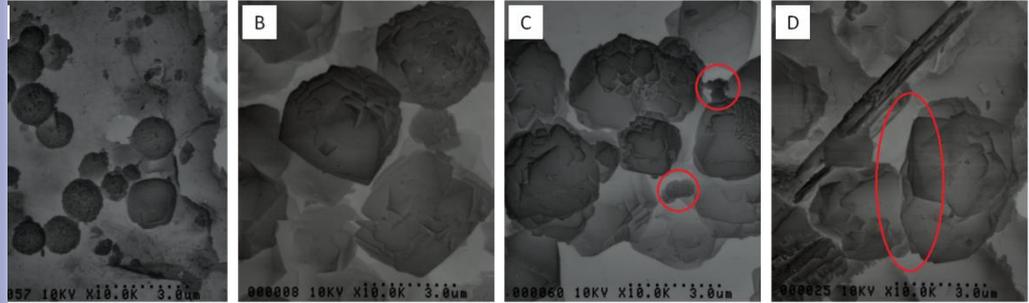


Gambar 4 Spektrum XRD dari X-Na, X- Cu_2O , dan X-Cu

Padatan serbuk memiliki struktur yang berbeda-beda. Struktur ini bisa jadi amorf atau kristal. XRD merupakan metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi jenis struktur suatu bahan berdasarkan difraksi sinar X oleh bahan tersebut. Spektrum XRD dari sampel dapat dilihat pada Gambar 4. Pada sampel X-Na dan X- Cu_2O memiliki pola kristalinitas yang sama yaitu kristal isometrik oktahedral. Namun, pada X-Cu memiliki pola yang berbeda dari X-Na, di mana terdapat puncak yang menghilang pada 2θ : 6,10; 10,00; 15,45; 23,30; 26,65; dan 30,95°. Hal ini juga dilaporkan pada hasil milik Mokrzycki *et al.* (2022), yaitu

ika konsentrasi ion tembaga yang digunakan untuk penukaran ion meningkat menyebabkan penurunan intensitas puncak karakteristik X-Na. Selain itu, setelah difikasi X-Na menggunakan tembaga melalui reaksi langsung dengan tembaga rat menyebabkan munculnya puncak baru pada 2θ : 12,4; 25,7; dan 36,5°. Pola D X-Cu berdasarkan Nezamzadeh-Ejhih dan Hushmandrad (2010) merupakan yawa kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$.

Morfologi suatu bahan dapat dilihat menggunakan *Scanning Electron microscopy* (SEM). SEM dapat mengidentifikasi morfologi suatu bahan hingga besaran 10.000 kali. Cara kerja SEM adalah dengan cara melapisi bahan nggunakan logam dengan cara di-*spray* agar bahan mampu mengalirkan elektron gan baik sehingga dapat terbaca oleh instrumen. Karakterisasi menggunakan M bertujuan untuk mengetahui morfologi atau bentuk yang dimiliki oleh tiap pel dapat dilihat pada Gambar 5. Cu_2O yang dihasilkan melalui reaksi seperti-lens memiliki bentuk bola dengan rata-rata diameternya 1.4 μm . Sampel X-Na i X- Cu_2O memiliki bentuk seperti kubus atau oktahedral dengan rata-rata meternya 4 μm . Akan tetapi, pada X- Cu_2O terlihat benda berbentuk bola seperti Cu_2O dengan rata-rata diameternya 0.5 μm . Hal ini menunjukkan proses modifikasi lit X menggunakan tembaga melalui reaksi seperti-Tollens berhasil. Ukuran Cu- yang kecil pada hasil modifikasi zeolit X dikarenakan adanya interaksi dengan lit X saat terjadinya pembentukan kristal Cu_2O sehingga laju pembentukan stal tidak optimal. Sampel X-Cu memiliki bentuk seperti oval atau oktahedral listorsi dengan diameter 5 μm dan lebar 4 μm . Hal ini dikarenakan X-Na yang miliki bentuk oktahedral mengalami pengikisan sebagian oleh larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ g bersifat asam. Proses pengikisan ini disebut sebagai dealuminasi zeolit akibat ksi yang terjadi antara zeolit dengan larutan asam (Babić *et al.* 2022).



Gambar 5 Foto SEM dengan perbesaran 10.000 kali, A) Cu_2O , B) X-Na, C) X- Cu_2O , dan D) X-Cu

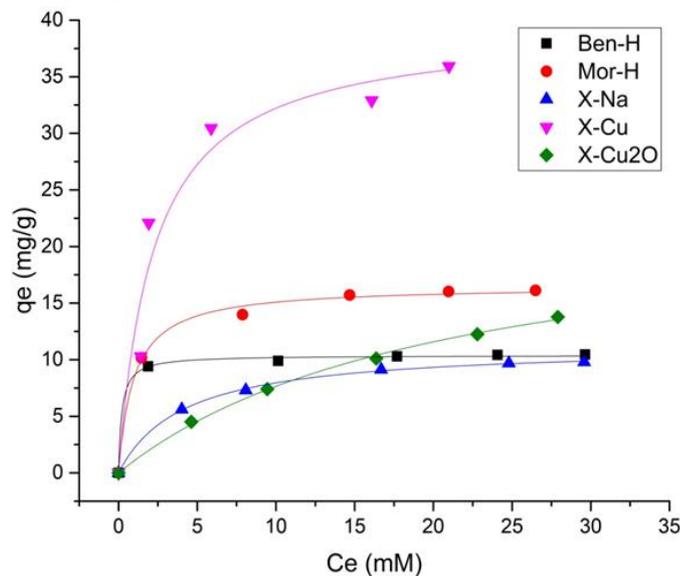
Walaupun pola XRD untuk X-Cu menunjukkan pola yang sama dengan $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$. Namun, spektrum FTIR X-Cu berbeda dengan $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ (gambar 3). Spektrum FTIR X-Cu (Gambar 3), terdapat pita lebar pada 1250–800 cm^{-1} sedangkan pada $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ terdapat pita tajam pada 1047 cm^{-1} vibrasi ion nitrat dan pita pada 886 cm^{-1} vibrasi tekukan Cu-O-H (Metwally *et al.* 2019). Foto il SEM menunjukkan wujud yang mirip dengan X-Na tetapi terjadi pengikisan ingga terjadi perubahan struktur dari oktahedral menjadi oktahedral terdistorsi u bentuk lainnya. Selain terdapatnya perubahan struktur, muncul struktur baru bentuk lembaran diatas tanda oval berwarna merah (Gambar 5.d). Lembaran ini merupakan kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ (Ramesh dan Madhu 2015). Modifikasi X-Na lalui reaksi langsung dengan tembaga nitrat menghasilkan komposit antara $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ dan X-Na yang mengalami dealuminasi dan desilikasi.

Hal-Cara-Penerbitan-Universitas-IPB
 1. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 2. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 3. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 4. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 5. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 6. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 7. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 8. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 9. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian
 10. Diizinkan mengutip sebagian atau seluruh karya kami untuk keperluan pendidikan dan penelitian

3.3 Kapasitas Adsorpsi Sampel

Mordenit merupakan zeolit alam yang berlimpah di Indonesia. Keberadaan mordenit yang berlimpah ini menyebabkan mordenit memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan zeolit X. Dilain sisi, bentonit merupakan salah satu bahan campuran untuk semen sehingga banyak terdapat pada bangunan-bangunan (Alkaya dan Esener 2011). Pada penelitian ini, salah satu cara aplikasi untuk adsorpsi bau adalah dengan cara mencampurkan hasil modifikasi ke dalam bahan bangunan atau pelapisan pada tembok bangunan. Hal inilah yang menjadi pertimbangan untuk menggunakan mordenit dan bentonit sebagai pembanding dalam adsorpsi amonia. Mor-H dan Ben-H digunakan sebagai kontrol pembanding karena memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan zeolit X. Mordenit dan bentonit dimodifikasi dengan asam nitrat sehingga menjadi terprotonasi disebut Mor-H dan Ben-H. Protonasi merupakan proses penukaran kation pada mordenit sehingga kation pada mordenit yang beragam ditukarkan oleh proton (Johan *et al.* 2022; Mota-Heredia *et al.* 2023).

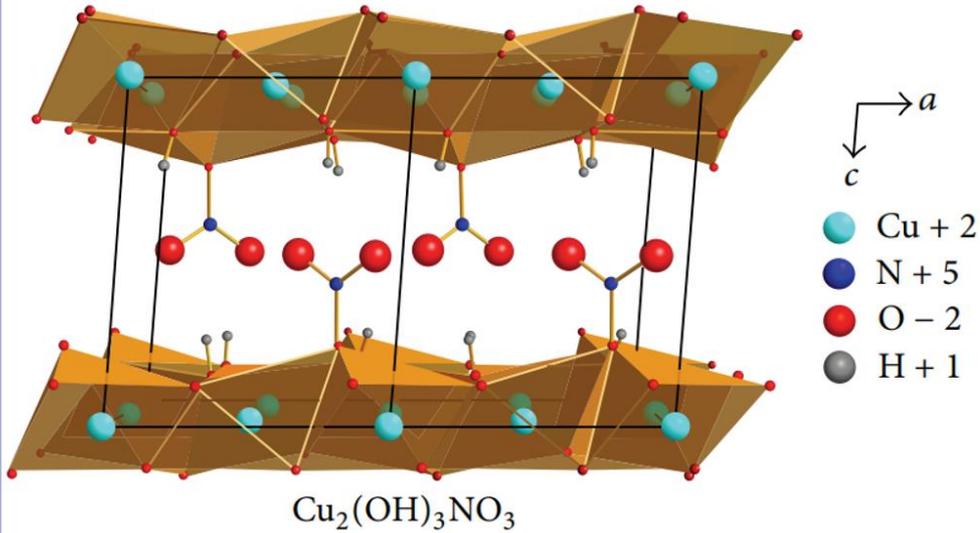
Kapasitas adsorpsi sampel merupakan jumlah maksimum adsorbat yang dapat dijerap oleh 1 g adsorben atau sampel. Suatu adsorben akan mengalami proses adsorpsi dan desorpsi. Reaksi antara adsorben yang memiliki banyak situs aktif dengan adsorbat akan diawali dengan adsorpsi yang tinggi. Jumlah adsorpsi ini akan menurun seiring dengan terisinya situs aktif yang dimiliki oleh adsorben hingga tercapai kondisi seimbang antara adsorpsi dan desorpsi, yaitu ketika adsorben jenuh. Pada penelitian ini, adsorbat yang dimaksud adalah amonium atau amonia dengan adsorben yang digunakan, yaitu X-Na, X-Cu₂O, X-Cu, Mor-H, dan Ben-H. Hasil dari adsorpsi amonium diperoleh kurva hubungan antara konsentrasi dengan jumlah yang terjerap (Gambar 6).



Gambar 6 Grafik Isoterm Langmuir hubungan antara Jumlah Amonium yang Terjerap (mg/g) dan Konsentrasi Amonium Setimbang (mM)

Pada dasarnya bentonit, mordenit, dan zeolit X merupakan mineral aluminosilika bermuatan negatif yang dikompensasi dengan kation. Amonium memiliki rumus kimia NH_4^+ yang termasuk kation bermuatan 1+. Adsorpsi amonium paling banyak dimiliki oleh X-Cu diikuti oleh Mor-H, Ben-H, X-Cu₂O,

X-Na (Gambar 6). X-Cu diketahui merupakan komposit antara kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ dan zeolit X yang mengalami dealuminasi dan desilikasi. Kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ memiliki bentuk lembaran (Gambar 7). Kompleks ini memiliki muatan positif karena mengikat NO_3^- . Hal ini menyebabkan kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ tidak mempengaruhi adsorpsi amonium. Di lain sisi, zeolit X yang telah mengalami dealuminasi dan desilikasi dapat membuka akses pada situs aktif yang berada di dalam kerangka zeolit (Peron *et al.* 2019). Proses dealuminasi dan desilikasi zeolit X ini mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi zeolit X hingga 3 kali lipat.

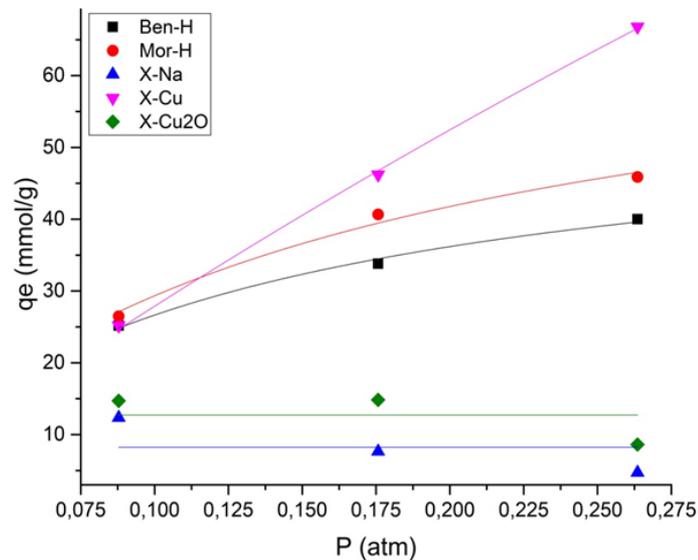


Gambar 7 Struktur kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$

Ben-H dapat menyerap amonium lebih baik daripada zeolit X-Na dan zeolit Cu_2O ketika konsentrasi amonium kurang dari 18 mM. Namun, zeolit X- Cu_2O menyerap amonium lebih banyak daripada Ben-H dan X-Na ketika konsentrasi amonium lebih dari 18 mM. Hal ini dikarenakan bentuk fisik dari zeolit atau orben yang digunakan dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi. Pada kasus bentonit memiliki wujud lembaran sehingga adsorpsi amonium dapat dilakukan dengan mudah pada masing-masing sisi bentonit. Di lain sisi, zeolit X mempunyai wujud yang seperti bola yang berpori mikro sehingga memiliki kapasitas tukar ion yang tinggi. Namun, ketika zeolit X tersebut jenuh dengan kation lain maka kemampuan adsorpsi amonium akan terhambat karena keberadaan kation-kation tersebut dapat menyumbat atau mengisi pori-pori zeolit sehingga memerlukan konsentrasi amonium yang tinggi untuk dapat menggantikan Cu_2O yang berada di dalam pori-pori tersebut. Pada kasus X-Na dan X- Cu_2O bergantung pada afinitas elektron antara Na^+ dan Cu_2O , dimana afinitas kation lebih tinggi dibandingkan lekul sehingga nilai penyerapan amonium pada X-Na lebih rendah dibandingkan dengan X- Cu_2O .

Pada Gambar 8 menunjukkan grafik isoterm langmuir dari hubungan antara jumlah zat terjerap dan tekanan pada wadah. Tekanan pada wadah akan meningkat seiring bertambahnya volume amonia yang diinjeksikan. Kemampuan adsorpsi amonia tertinggi berdasarkan grafik dimiliki oleh X-Cu yang diikuti oleh Mor-H, H_2O , X- Cu_2O , dan X-Na. Pada X-Cu, Mor-H, dan Ben-H memiliki peningkatan adsorpsi amonia seiring bertambahnya tekanan. Namun, X- Cu_2O dan X-Na

memiliki kecenderungan penurunan jumlah adsorpsi amonia seiring bertambahnya tekanan. Hal ini dikarenakan morfologi X-Cu₂O dan X-Na yang seperti lingkaran dengan mengandung kation atau molekul yang menutupi pori-porinya. Ketika tekanan meningkat maka kepadatan dan interaksi antar molekul dalam ruang akan meningkat pula sehingga X-Cu₂O dan X-Na yang pori-porinya sudah tertutupi tidak akan dapat menyerap amonia lebih banyak lagi. Menurut hasil penelitian Zhang *et al.* (2018), seiring meningkatnya tekanan gas maka permeabilitasnya akan semakin menurun. Selain itu, akibat dari kepadatan molekul dalam wadah menyebabkan adanya jarak antar molekul yang simetris sehingga terjadinya penurunan jumlah amonia yang terjerap oleh X-Cu₂O dan X-Na sedangkan pada X-Cu yang permukaannya sudah terkikis akibat asam menyebabkan pori-porinya semakin terbuka sehingga jumlah amonia yang terjerap semakin banyak.



Gambar 8 Grafik Isoterm Langmuir hubungan antara Jumlah Amonia yang Terjerap (mg/g) dan Tekanan (atm)

Mordenit, bentonit, dan zeolit X memiliki kapasitas tukar kation yang berbeda. Kapasitas tukar kation inilah yang mempengaruhi seberapa banyak jumlah kation atau zat yang dapat dijerap oleh suatu adsorbat. Kapasitas tukar kation dapat diurutkan dari yang terbesar ke yang terkecil, yaitu zeolit X 391 cmol.Kg⁻¹, mordenit 176 cmol.Kg⁻¹ (Munthali *et al.* 2014), dan bentonit 86 cmol.Kg⁻¹ (Krupskaya *et al.* 2017). Namun, pada X-Na dan X-Cu₂O tidaklah sesuai karena memiliki jumlah amonia yang teradsorpsi lebih rendah dibandingkan dengan Mor-H dan Ben-H. Hal ini dikarenakan perbedaan zat pengaktif yang digunakan. Seperti yang diketahui, amonia memiliki rumus kimia :NH₃ dengan sepasang elektron bebas sehingga dapat terjadi ikatan hidrogen dengan H⁺. Ikatan hidrogen inilah yang menyebabkan jumlah amonia lebih banyak terjerap pada Mor-H dan Ben-H dibandingkan dengan X-Na.

3.4 Aktivitas Antibakteri Sampel

Bakteri terbagi menjadi dua jenis, yaitu gram-positif dan gram-negatif. Bakteri gram-positif memiliki lapisan peptidoglikan tebal sedangkan bakteri gram-negatif lapisan peptidoglikan dan membran luar lipopolisakarida (Sánchez-López

et al. 2020). Uji aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram la media MHA (Lampiran 4). Aktivitas antibakteri diketahui melalui hitungan zona bening yang terbentuk disekitar cakram yang terdapat sampel. Tabel 1 menunjukkan zona hambat yang dimiliki oleh masing-masing sampel pada dua jenis gram bakteri. Zona hambat merupakan zona bening yang dihasilkan akibat adanya aktivitas antibakteri. Pengelompokan kekuatan aktivitas antibakteri didasarkan luas zona hambatnya dibagi menjadi empat, yaitu <9 mm tidak kuat, 9-12 mm cukup kuat, 13-18 mm kuat, dan >18 mm sangat kuat (Karo-Karo *et al.* 2013).

Tabel 1 Zona hambat sampel

Sampel	Zona hambat (mm)	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
X-Na(s)	0 ± 0 ^c	0 ± 0 ^b
X- Cu ₂ O(s)	0 ± 0 ^c	0 ± 0 ^b
Cu ₂ O(s)	8,35 ± 0,85 ^b	9,75 ± 0,58 ^a
X-Cu(s)	11,23 ± 1,69 ^a	12,17 ± 0,75 ^a
Cu(NO ₃) ₂ (aq)	12,09 ± 1,21 ^a	11,73 ± 0,96 ^a

angka pada baris dan kolom yang sama dan diikuti huruf berbeda menunjukkan bahwa hasil berbeda signifikan (P<0.05)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa Cu₂O, Cu₂(NO₃)₂, dan X-Cu memiliki aktivitas antibakteri sedangkan X-Na dan X-Cu₂O tidak memiliki aktivitas antibakteri. Senyawa tembaga dan oksidanya memiliki aktivitas antibakteri yang cukup kuat terhadap gram-positif dan gram-negatif (Arendsen *et al.* 2019; Bezza *et al.* 2020). Namun, Sampel X-Cu₂O tidak memiliki aktivitas antibakteri. Hal ini dikarenakan Cu pada sampel jumlahnya terlalu sedikit dan terikat pada kerangka zeolit X (Du *et al.* 2017) sehingga tidak reaktif terhadap bakteri (Cadar *et al.* 2020). Zona hambat pada *S. aureus* lebih besar dibandingkan *E. coli* pada Cu₂O dan X-Cu dikarenakan kedua sampel tersebut adalah padatan. *E. coli* gram-negatif memiliki lapisan lipopolisakarida yang berfungsi sebagai pelindung dari difusi antibiotik ke dalam sel bakteri (Zhang *et al.* 2013). Kekuatan aktivitas antibakteri tembaga dari yang terkuat ke paling lemah yaitu, Cu⁺, Cu⁺², dan Cu₂O. Hal ini dikarenakan kation tembaga sudah berada dalam larutan lebih mudah untuk menembus membran sel bakteri dibandingkan dengan molekul tembaga (Mathews *et al.* 2015). Aktivitas antibakteri terbaik dimiliki oleh Cu(NO₃)₂ = X-Cu > Cu₂O >> X-Na = X-Cu₂O.

IV SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Modifikasi X-Na melalui reaksi seperti-Tollens dan reaksi langsung dengan larutan tembaga nitrat telah berhasil dilakukan dengan menghasilkan dua senyawa baru, X-Cu₂O dan X-Cu. X-Cu₂O memiliki karakteristik yang menyerupai X-Na sedangkan X-Cu berbeda berdasarkan karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. X-Cu merupakan komposit antara kompleks Cu₂(OH)₃NO₃ dan zeolit X yang mengalami dealuminasi dan desilikasi. Hasil modifikasi berhasil dalam meningkatkan adsorpsi amonium (NH₄⁺) dan amonia (NH₃) dibuktikan dengan nilai adsorpsi tertinggi dimiliki oleh X-Cu diikuti X-Cu₂O, dan X-Na. Aktivitas antibakteri hanya dimiliki oleh X-Cu sedangkan X-Cu₂O dan X-Na tidak.

4.2 Saran

Sebaiknya karakterisasi sampel digunakan SEM EDS untuk memastikan sampel yang terbentuk mengandung tembaga. Selain itu, kemampuan adsorpsi pada kedua sampel hasil modifikasi perlu dicoba pada model polutan lainnya, seperti VOC dan H₂S.

DAFTAR PUSTAKA

- Idin AZ, Bakar NHHA, Ng EP, Tan WL. 2017. Rapid degradation of methyl orange by Ag doped zeolite X in the presence of borohydride. *Journal of Taibah University for Science*. 11:1070–1079.
- elodun AA, Vellingiri K, Jeon B, Oh J, Kumar S, Kim K. 2017. A test of relative removal properties of various offensive odors by zeolite. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 11(1):15–28.
- aya D, Esener A. 2011. Usability of sand-bentonite-cement mixture in the construction of unpermeable layer. *Scientific Research and Essays*. 6(21):4492–4503.
- ndsen LP, Thakar R, Sultan AH. 2019. The use of copper as an antimicrobial agent in health care, including obstetrics and gynecology. *Clinical microbiology reviews*. 32(4):e00125-18.
- ović V, Koneti S, Moldovan S, Debost M, Gilson J, Valchev V. 2022. Chromic acid dealumination of zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*. 39: 111513.
- aliouche F, Boucheffa Y, Ayrault P, Mignard S, Magnoux. 2008. NH₃-TPD and FTIR spectroscopy of pyridine adsorption studies for characterization of Ag and Cu-exchanged X zeolites. *Microporous and Materials*. 111:80–88.
- zza FA, Shepherd M, Tichapondwa, Chirwa EMN. 2020. Fabrication of monodispersed copper oxide nanoparticles with potential application as antimicrobial agents. *Scientific Reports*. 10: 16680.
- dtri N, Khongman S, Aekram S, Klinsuk J, Somphong C, Lertsiriyothin W. 2019. Characterization and morphology if nanosilver coating on zeolite of ZSM-5, mordenite, and Y type. *Key Engineering Materials*. 801:172–178.
- lar O, Senila M, Hoaghia MA, Scurtu D, Miu I, Levei EA. 2020. Effects of thermal treatment on natural clinoptilolite-rich zeolite behavior in simulated biological fluids. *Molecules*. 25(11): 1–12.
- oudhary S, Sarma JVN, Pande S, Ababou-Girard S, Turban P, Lepine B, Gangopadhyay S. 2018. Oxidation mechanism of thin Cu films: a gateway towards the formation of single oxide phase. *American Institute of Physics Advances*. 8(5):1–16.
- ude G, Zeh L, Jungfer MR, Hagenbach A, Figueroa JS, Abram U. 2022. The chemistry of phenylimidodotechnetium(V) complexes with isocyanides: steric and electronic factors. *Molecules*. 27(23):8546.
- BD, Phu DV, Quoc LA, Hien NQ. 2017. Synthesis and investigation of antimicrobial activity of Cu₂O nanoparticles/zeolite. *Journal of Nanoparticles*. 2017: 1–6.
- ata FT, Dubale AA, Bebizuh DF, Atlabachew M. 2019. Copper doped zeolite composite for antimicrobial activity and heavy metal removal from waste water. *BMC Chemistry*. 13:1–12.
- R, Liu G, Zhang H, Xue H, Wang X, Lam PKS. 2019. Odor pollution due to industrial emission of volatile organic compounds: a case study in Hefei, China. *Journal of Cleaner Production*. 246:119075–119086.
- J, Gao S, Duan Y, Fu Q, Che X, Xu H, Wang Z, Cheng J. 2021. Investigation of health risk assessment and odor pollution of volatile organic compounds

- from industrial activities in the Yangtze River Delta region, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208:111474.
- Johan E, Fernando VAA, Sadia S, Mitsunobu S, Hirai S, Matsue N. 2022. A new tool for disinfecting household drinking water for rural residents: protonated mordenite-embedded sheet. *Journal of Water, Sanitation & Hygiene for Development*. 12(3): 271–277.
- Jusys Z, Vaskelis A. 1992. Mechanism of copper (II) reduction by formaldehyde studied by on-line mass spectrometry. *Langmuir*. 8:1230–1231.
- Karo-Karo SU, Arianto A, Salim E. 2023. Antibacterial Activity and Determination of Total Phenol and Flavonoid of *Carica papaya* L. Ethanol Extract. *International Journal of Science, Technology & Management*. 4(1): 233–238.
- Kim DW, Han H, Kim H, Guo X, Tsapatsis M. 2018. Preparation of a grapheme oxide/Faujasite composite adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials*. 268: 243–250.
- Kotoulas A, Agathou D, Triantaphyllidou IE, Tatoulis TI, Akratos CS, Tekerlekopoulou AG, Vayenas DV. 2019. Zeolite as a potential medium for ammonium recovery and second cheese whey treatment. *Water*. 11:136–158.
- Krupskaya VV, Zakusin SV, Tyupina EA, Dorzhieva OV, Zhukhlistov AP, Belousov PE, Timofeeva MN. 2017. Experimental study of montmorillonite structure and transformation of its properties under treatment with inorganic acid solutions. *Minerals*. 7(4):49.
- Kucic D, Markic M, Briski F. 2012. Ammonium adsorption on natural zeolite (clinoptilolite): adsorption isotherms and kinetics modeling. *The Holistic Approach to Environment*. 2(4):145–158.
- Sánchez-López S, Gomez D, Esteruelas G, Bonilla L, Lopez-Machado ALL, Galindo R, Cano A, Espina M, Ettcheto M, Camins A, Silva AM, Durazzo A, Santini A, Garcia ML, Souto EB. 2020. Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: an overview. *Nanomaterials*. 10(292):1–39.
- Ma Y, Hou J. 2022. Preparation and Antibacterial Activity of Nano Copper Oxide-Loaded Zeolite 10X. *International Journal of Molecular Sciences*. 23:8421.
- Manjunathan P, Maradur SP, Halgeri AB, Shanbhag GV. 2015. Room temperature synthesis of solketal from acetalization of glycerol with acetone: Effect of crystallite size and the role of acidity of beta zeolite. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 396:47–54.
- Mathews S, Kumar R, Solioz M. 2015. Copper reduction and contact killing of bacteria by iron surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. 81(18):6399–6403.
- Metwally SM, Saber O, Ibrahim SS, Al Naim AF. 2019. Synthesis and characterization of copper hydroxynitrate salt ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$): effect of gamma radiation absorbed doses on thermal stability. *Material Express*. 9(6):545–552.
- Mokrzycki J, Fedyna M, Marzec M, Szerement J, Panek R, Klimek A, Bajda T, Mierzwa-Hersztek M. 2022. Copper ion-exchanged zeolite X from flu ash as an efficient adsorbent of phosphate ions from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10:108567.
- Mota-Heredia C, Cuevas J, Ruiz AI, Ortega A, Torres E, Turrero MJ, Fernandez R. 2023. Geochemical interactions at the steel-bentonite interference caused by a hydrothermal gradient. *Applied Clay Science*. 240:106984.

- nthali MW, Elsheikh MA, Johan E, Matsue N. 2014. Proton adsorption selectivity of zeolites in aqueous media: effect of Si/Al ratio of zeolites. *Molecules*. 19(12): 20468–20481.
- zamzadeh-Ejhieh A, Hushmandrad S. 2010. Solar photodecolorization of methylene blue by CuO/X zeolite as a heterogeneous catalyst. *Applied Catalysis A: General*. 388:149–159.
- on DV, Zholobenko VL, de Melo JSH, Capron M, Nuns N, de Souza MO, Feris LA, Marcilio NR, Ordonsky VV, Khodakov AY. 2019. External surface phenomena in dealumination and desilication of large single crystal of ZSM-5 zeolite synthesized from a sustainable source. *Microporous and Mesoporous Materials*. 286:57–64.
- mesh TN, Madhu TL. 2015. Thermal decomposition studies of layered metal hydroxynitrates (metal: Cu, Zn, Cu/Co, and Zn/Co). *International Journal of Inorganic Chemistry*. 15:1–11.
- akur S, Karak N. 2015. Alternative methods and nature-based reagents for the reduction of graphene oxide: a review. *Carbon*. 94:224–242.
- zthum S, Charles W, Ho G, Cord-Ruwisch R. 2016. Novel process of biochemical ammonia removal from air streams using a water reflux system and zeolite as filter media. *Chemosphere*. 144:257–263.
- L, Lo B, Qu J, Wilkinson I, Hughes T, Murray CA, Tang CC, Chi S, Tsang E. 2016. Probing atomic positions of adsorbed ammonia molecules in zeolite. *Chemical Communication*. 52:3422–3425.
- Y, Li ZY, Zhong Z, Gates B, Xia Y, Venkateswaran S. 2002. Synthesis and characterization of stable aqueous dispersions of silver nanoparticles through the Tollens process. *Journal of Materials Chemistry*. 12(3):522–527.
- Li L, Lv X, Tong S, Zhang T, Song Y, Wang Y, Hao Z, Huang C, Xia D. 2019. Modification of zeolite by metal and adsorption desulfurization of organic sulfide in natural gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 69:102941.
- ang C, Zhang L, Tu S, Hao D, Teng T. 2018. Experimental and numerical study of the influence of gas pressure on gas permeability in pressure relief gas drainage. *Transport in Porous Media*. 124: 995–1015.
- ang G, Meredith TC, Kahne D. 2013. On the essentiality of lipopolysaccharide to Gram-negative bacteria. *Current opinion in microbiology*. 16(6), 779–785.



Hasil Cipta Film/strategi Unsur-unsur film

1. Dihasilkan sebagai salah satu unsur dari proses pembuatan dan penyediaan sumber :

- a. Bergejala dari bentuk atau kerangka struktur sendiri-sendiri, analisis, perbaikan kerja ilmiah, penyusunan laporan, pembuatan karya atau tulisan untuk masalah.
- b. Pengetahuan tidak efektif dan pengetahuan yang wajar (IPB, IPB, IPB).

2. Dihasilkan menggunakan dan meningkatkan kemampuan atau keahlian kerja ilmiah dan diarahkan untuk keperluan tugas (IPB) IPB University.

LAMPIRAN

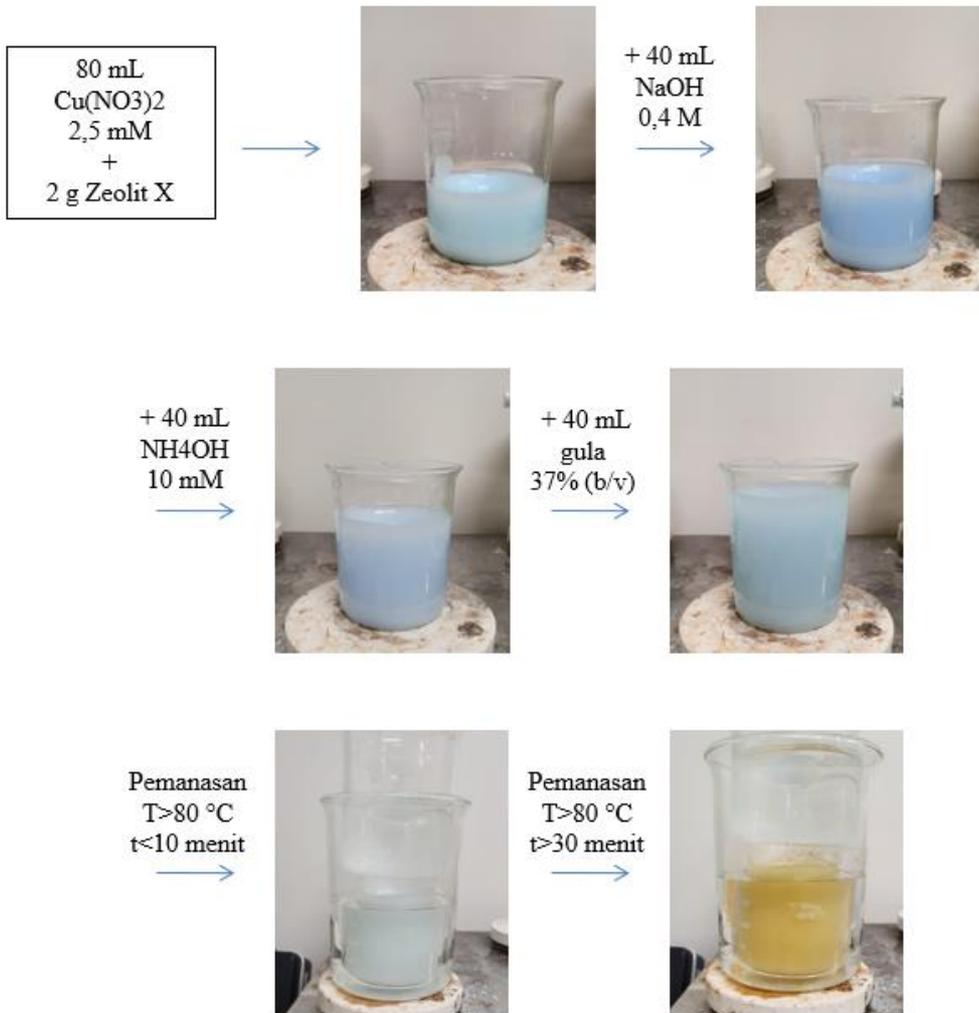
mpiran 1 Tabung modifikasi untuk adsorpsi amonia



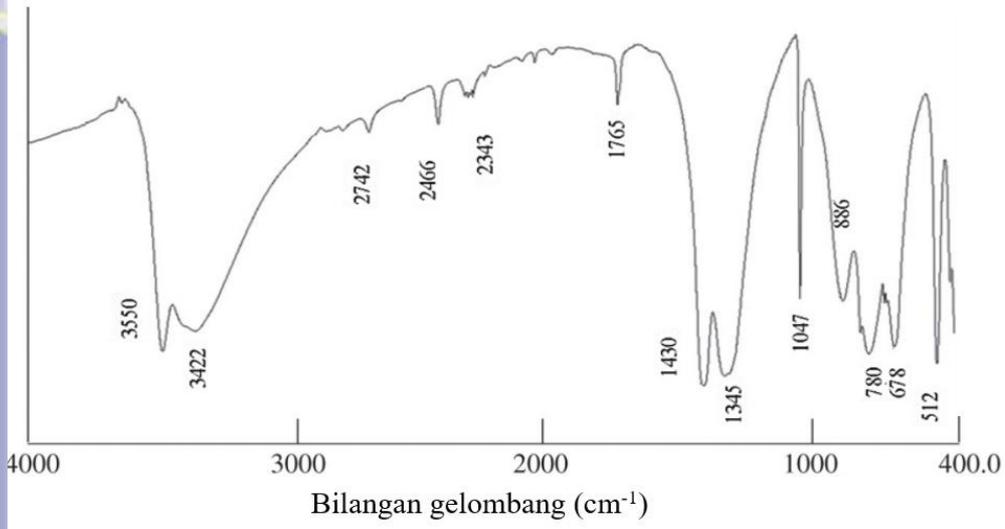
Halik cipta milik IPI University

IPI University

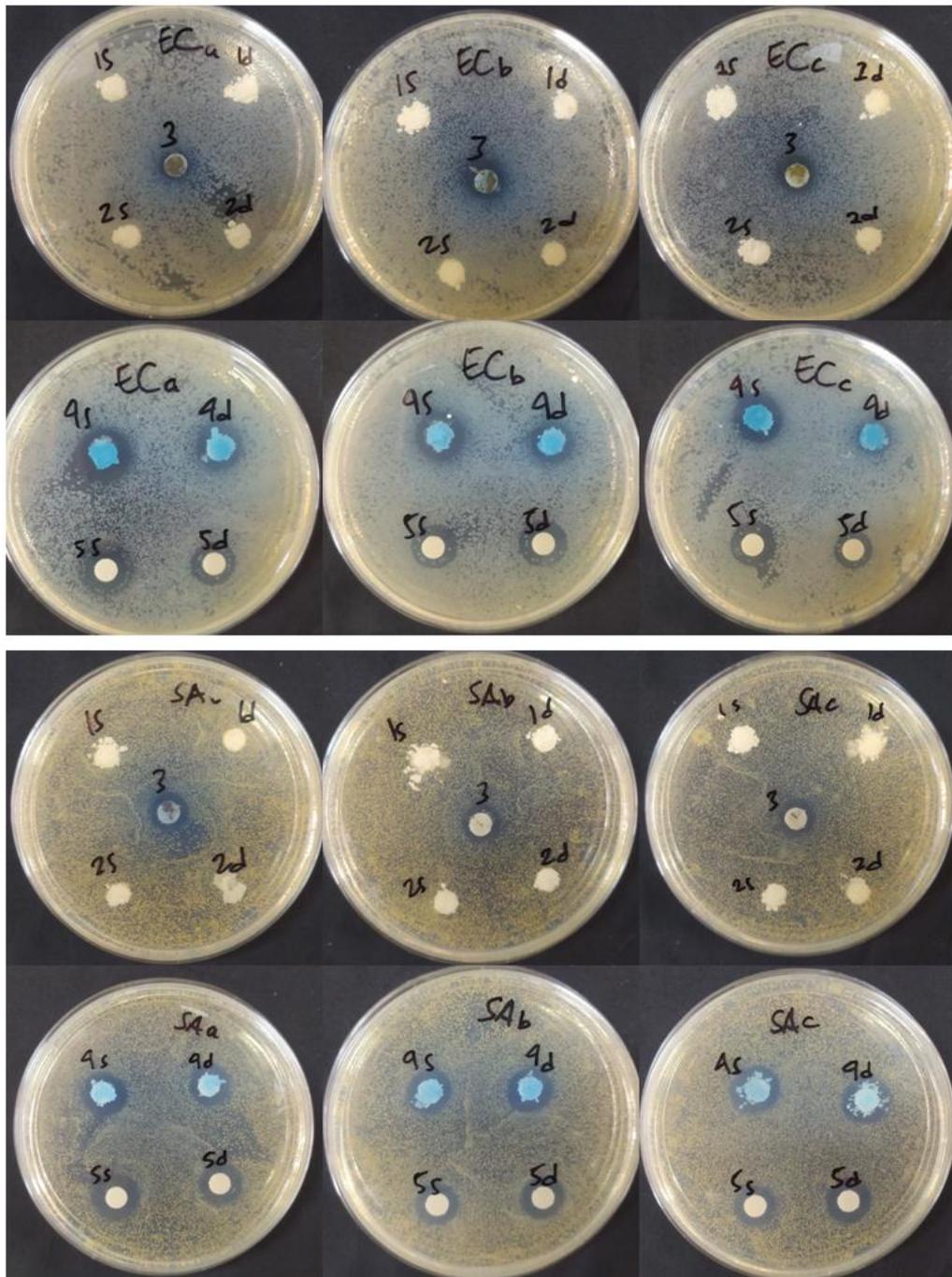
Lampiran 2 Tahapan modifikasi zeolit X menggunakan tembaga melalui reaksi seperti-Tollens



mpiran 3 Spektrum FTIR kompleks $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$



Lampiran 4 Foto hasil uji aktivitas antibakteri sampel pada *E. coli* dan *S. aureus*



Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 1 = X-Na | EC = <i>E. coli</i> |
| 2 = X-Cu ₂ O | SA = <i>S. aureus</i> |
| 3 = Cu ₂ O | a = Simplo Cawan |
| 4 = X-Cu | b = Duplo Cawan |
| 5 = Cu(NO ₃) ₂ | c = Triplo Cawan |
| s = Simplo sampel | |
| d = Duplo sampel | |

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Jakarta pada 03 Februari 1997 sebagai anak ke satu dari pasangan bapak Noor Azmansyah dan ibu Rulli Narulita. Pendidikan sarjana penulis menempuh di Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S-2) di Program Studi Kimia pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dan menamatkannya pada tahun 2023.

Penulis bekerja sebagai Analis Laboratorium di PPLH IPB sejak tahun 2021 dan ditempatkan di Bogor. Selama perkuliahan, penulis menjadi pengajar di tutorial kimia umum program Beasiswa Utusan Daerah pada tahun 2019, asisten praktikum kimia Program Pendidikan Kompetensi Umum pada tahun ajaran 2019/2020, asisten praktikum Sintesis dan Aplikasi Material Anorganik tahun ajaran 2019/2020 dan 2020/2021, asisten praktikum Kimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pertahanan tahun ajaran 2020/2021. Penulis juga pernah menjadi pengajar pada pelatihan asisten praktikum Program Pendidikan Kompetensi Umum pada tahun 2022. Karya ilmiah berjudul “Sintesis Komposit Polimer X/Oksida Peran dan Tembaga melalui Reaksi Tollens serta Aplikasinya sebagai Adsorben” telah dipublikasi di Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan. Penulis juga pernah memperoleh atau pernah terpilih sebagai peserta IPB SUIJI-JP Master pada tahun ajaran 2019/2020. Karya-karya ilmiah tersebut merupakan bagian dari program S-2 penulis.