

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Co(II)-*IMPRINTED POLYMERS* MENGGUNAKAN
MONOMER ASAM METAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN ION Co(II)**

SKRIPSI

**Oleh:
FARIDATUL BADRIYAH
NIM. 200603110029**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Co(II)-*IMPRINTED POLYMERS* MENGGUNAKAN
MONOMER ASAM METAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN ION Co(II)**

SKRIPSI

**Oleh:
FARIDATUL BADRIYAH
NIM: 200603110029**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Co(II)-IMPRINTED POLYMERS MENGGUNAKAN
MONOMER ASAM METAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN ION Co(II)**

SKRIPSI

Oleh:
FARIDATUL BADRIYAH
NIM: 200603110029

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 11 Desember 2024

Pembimbing I



Siska Ela Kartika, M.Si
NIP. 19871014 202012 2 001

Pembimbing II



Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 201903 2 008

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Co(II)-IMPRINTED POLYMERS MENGGUNAKAN
MONOMER ASAM METAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN ION Co(II)**

SKRIPSI

Oleh:
FARIDATUL BADRIYAH
NIM: 200603110029

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 11 Desember 2024**

Ketua Penguji : Dr. Anton Prasetyo, M.Si
NIP. 19770925 200604 1 003

Anggota Penguji I : Rif'atul Mahmudah, M.Si
NIP. 19830125 202321 2 020

Anggota Penguji II : Siska Ela Kartika, M.Si.
NIP. 19871014 202012 2 001

Anggota Penguji III : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 201903 2 008

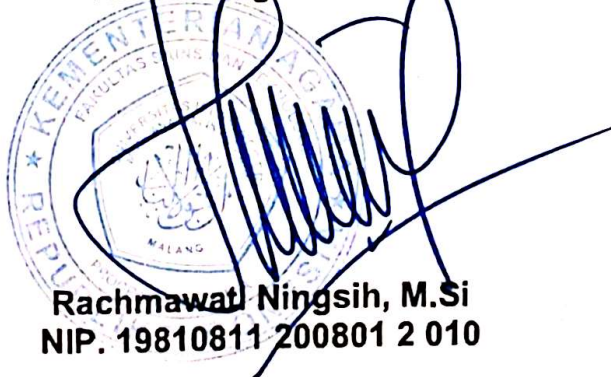
(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faridatul Badriyah

NIM : 200603110029

Program Studi : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Sintesis dan Karakterisasi Co(II)-Imprinted Polymers Menggunakan Monomer Asam Metakrilat Sebagai Adsorben Ion Co(II)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 05 Desember 2024
Yang Membuat Pernyataan



Faridatul Badriyah
NIM. 200603110029

MOTTO

“Minta pertolongan dengan sabar dan shalat, Sesungguhnya Allah SWT bersama orang-orang yang sabar”

-QS. Al-Baqarah (15)

“Kita sudah harus semakin percaya, bahwa kepala hidup semua tergumpal di tangan Tuhan satu-satunya. Meski jika ada bagian-bagian yang tidak mudah untuk kita berdamai di dalamnya, yang tersisa hanya tinggal seberapa cerdas kita dapat berhikmah dari setiap peristiwa”

-Ning Nadia Abdurrahman

“Jadikanlah ilmumu seperti garam yang selalu di butuhkan semua orang dan jadikanlah ahlaqmu seperti tepung yang lemah lembut”

-KH. Sholahuddin Masruri

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah...segala puji dan syukur kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tulisan ini dipersembahkan untuk:

1. Panutanku, Papah Abdul Muin. Beliau menjadi inti tulang punggung keluarga. Meskipun belum sempat merasakan pendidikan hingga bangku perkuliahan, namun beliau mendidik penulis menjadi perempuan yang kuat dan tegar dalam segala rintangan, terus memberikan motivasi dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Terimakasih atas segala doa, materi dan nasehat yang diberikan selama ini. Terimakasih sudah memberikan inspirasi untuk terus melangkah maju.
2. Pintu surgaku, Mamah Lela Nurlaela. Beliau juga belum sempat merasakan pendidikan di bangku perkuliahan, namun gigih dalam memanjatkan do'a yang selalu beliau berikan tanpa henti di sepertiga malamnya. Terimakasih atas segala do'a dan dukungan yang diberikan selama ini. Semoga penulis bisa menjadi perempuan hebat seperti Mamah.
3. Keluarga besarku yang telah memberikan do'a terbaik dan telah memberikan kehangatan setiap kali Saya pulang ke rumah, yang selalu menanyakan "kapan pulang?". Akhirnya setelah skripsi ini selesai, Saya bisa berkumpul kembali dengan mereka.
4. Dosen pembimbingku, Ibu Siska Ela Kartika, M.Si dan Ibu Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si., terimakasih atas perhatian, bimbingan, ilmu, dan waktunya untuk membantu Saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Semua Guru-guruku, baik itu Guru-guru dari pendidikan formal maupun informal. Terimakasih atas ketulusannya dalam mengajarkan ilmu kepada penulis.
6. Saya ucapkan terimakasih kepada Pusat Ma'had Al-Jami'ah yang telah menjadi tempat tinggal saya selama 3 tahun untuk mengabdikan dan berbagi pengalaman sekaligus tempat pertama yang Saya kunjungi di perantauan dan teman-teman Musyrif/ah yang selalu support Saya hingga saat ini.
7. Teman-teman Kimia Angkatan 2020 (Aurum) yang telah kebersamaian Saya selama Studi di Kimia UIN Malang serta selalu menguatkan satu sama lain khususnya partner penelitian Saya Putri Septiani yang sudah menjalani penelitian bersama, berbagi ilmu dan cerita.
8. Teman-teman kamar kantor informasi yaitu Nisa, Alfi, Ilvi, Gita, Ismah, Aannisa, dan Abdinda yang selalu memberikan dukungan dan do'a terbaik untuk Saya, serta selalu mendengarkan keluh kesah selama menjalani penelitian.
9. Teman-teman Keluarga Mahasiswa dan Pelajar (KAMAPA) Jawa Barat.
10. *Last but not least*, terimakasih yang tak terhingga untuk diri sendiri yang telah berjuang dan bertahan hingga tahap ini, menjalani dan selalu berusaha melakukan yang terbaik. Semoga bisa menjadi seseorang yang lebih baik lagi serta bermanfaat untuk orang sekitarnya.

Terimakasih atas semua do'a dan dukungan yang telah kalian berikan untuk Saya. Semoga Allah SWT selalu meridhoi setiap langkah kalian dan membalas semua kebaikan-kebaikan kalian.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, Segala puji syukur kehadiran Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Sintesis dan Karakterisasi Co(II)-Imprinted Polymers menggunakan monomer asam metakrilat sebagai adsorben ion Co(II)**". Semoga semua yang penulis upayakan dapat memberikan manfaat kepada pembaca. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Siska Ela Kartika, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Diana Chandra Dewi, M.Si, selaku dosen wali yang senantiasa memberikan pengarahan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh dosen, laboran, dan staff administrasi Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu, pengalaman, wawasan, dan pelayanan yang baik kepada penulis.
8. Semua pihak yang ikut membantu, memberikan doa, dan motivasi kepada penulis baik berupa materil maupun moril.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran demi perbaikan maupun pengembangan penyusunan skripsi selanjutnya. Penulis berharap skripsi penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca khususnya penulis secara pribadi.

*Wallahul muwaffiq ila aqwamith thorieq
Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Malang, 05 Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	iv
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
مستخلص البحث.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kobalt	5
2.2 Adsorpsi	6
2.3 <i>Ion Imprinted Polymers</i> (IIPs)	6
2.4 Asam Metakrilat.....	8
2.5 Isoterm Adsorpsi	9
2.6 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	10
2.7 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	12
2.8 <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS).....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan.....	14
3.3 Rancangan Penelitian	14
3.4 Tahapan Penelitian.....	14
3.5 Prosedur Penelitian	15
3.5.1 Sintesis <i>Co(II)-Imprinted Polymers</i> (Co(II)-IPs)	15
3.5.2 Karakterisasi Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur yang Terkandung dalam Polimer menggunakan SEM-EDS.....	15
3.5.3 Karakterisasi Gugus Fungsi menggunakan FTIR.....	15
3.5.4 Pembuatan Kurva Standar.....	16
3.5.5 Penentuan pH Optimum	16
3.5.6 Penentuan Waktu Kontak Optimum	16
3.5.7 Penentuan Kapasitas Adsorpsi	16
3.5.8 Pembuatan Kurva Standar Selektivitas Adsorpsi	16
3.5.9 Penentuan Selektivitas Adsorpsi.....	17
3.6 Analisis Data	17
3.6.1 Analisis Data FTIR.....	17
3.6.2 Analisis Data SEM-EDS.....	17
3.6.3 Analisis Data Penentuan pH Optimum.....	17

3.6.4	Analisis Data Penentuan Waktu Kontak Optimum	18
3.6.5	Analisis Data Penentuan Kapasitas Adsorpsi	18
3.6.6	Analisis Data Penentuan Selektivitas.....	18
3.6.7	Analisis Data Penentuan Isoterm Adsorpsi	18
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1	Sintesis Co(II)- <i>Imprinted Polymers</i> (Co(II)-IPs)	20
4.2	Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Elektron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	21
4.3	Karakterisasi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	22
4.4	Optimasi Co(II)- <i>Imprinted Polymers</i>	25
4.4.1	Penentuan Kurva Standar	25
4.4.2	Penentuan pH Optimum	26
4.4.3	Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	26
4.5	Kapasitas Adsorpsi.....	27
4.6	Selektivitas Adsorpsi.....	28
4.7	Isoterm Adsorpsi.....	29
4.8	Integrasi Penelitian	31
BAB V	PENUTUP.....	32
5.1	Kesimpulan.....	32
5.2	Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....		33
LAMPIRAN.....		39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian	39
Lampiran 2. Diagram Alir	40
Lampiran 3. Perhitungan.....	43
Lampiran 4. Foto Dokumentasi	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kobalt.....	5
Gambar 2.2	Langkah-langkah sintesis <i>Ion Imprinted Polymers</i> (IIPs)	7
Gambar 2.3	Mekanisme pembentukan Co(II)-IPs	8
Gambar 2.4	Asam metakrilat	9
Gambar 2.5	Grafik isoterm adsorpsi Langmuir	10
Gambar 2.6	Grafik isoterm adsorpsi Freundlich	10
Gambar 4.1	Co(II)-IPs.....	20
Gambar 4.2	Reaksi pembentukan Co(II)-IPs.....	21
Gambar 4.3	SEM (a) NIPs, (b) Co(II)-IPs sebelum <i>leaching</i> , (c) Co(II)-IPs setelah <i>leaching</i>	22
Gambar 4.4	Spektra FTIR (a) MAA, (b) NIPs, (c) Co(II)-IPs sebelum <i>leaching</i> , (d) Co(II)-IPs setelah <i>leaching</i>	23
Gambar 4.5	Kurva standar	25
Gambar 4.6	Grafik pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs	26
Gambar 4.7	Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs	27
Gambar 4.8	Grafik kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs dan NIPs.....	28
Gambar 4.9	Grafik koefisien selektivitas Co(II)-IPs dan NIPs.....	29
Gambar 4.10	Isoterm adsorpsi (a) Langmuir (b) Freundlich	30

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Bilangan gelombang dari spektra FTIR Pb(II)-IPs	11
Tabel 4.1	Komposisi unsur dalam NIPs, Co(II)-IPs sebelum <i>leaching</i> , dan Co(II)-IPs setelah <i>leaching</i>	22
Tabel 4.2	Bilangan gelombang dari spektra FTIR MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum <i>leaching</i> , dan Co(II)-IPs setelah <i>leaching</i>	24
Tabel 4.3	Kapasitas adsorpsi ion Co(II) oleh berbagai adsorben	28
Tabel 4.4	Selektivitas adsorpsi	29
Tabel 4.5	Parameter isoterm adsorpsi	30

ABSTRAK

Badriyah, Faridatul. 2024. **Sintesis dan Karakterisasi Co(II)-Imprinted Polymers menggunakan Asam Metakrilat sebagai Adsorben Ion Co(II)**. Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Siska Ela Kartika, M.Si. Pembimbing II: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si

Kata kunci: Adsorpsi, Asam Metakrilat, Co(II)-Imprinted Polymers, dan Kobalt

Pencemaran logam berat merupakan masalah yang serius karena tidak dapat diurai dan dapat terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Oleh karena itu perlu dilakukan monitoring lingkungan sebagai upaya pemantauan kualitas air dan pengendalian pencemaran lingkungan perairan. *Ion imprinted polymers* (IIPs) merupakan adsorben yang memiliki selektivitas tinggi terhadap logam target, karena memiliki rongga (*cavity*) yang memiliki kesamaan ukuran, muatan, geometri koordinasi, dan bilangan koordinasi. Penelitian ini berhasil disintesis Co(II)-Imprinted Polymers (Co(II)-IPs) melalui polimerisasi asam metakrilat (MAA) dan etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dengan adanya kompleks Co(II)-8-hidroksi quinoline. Ion Co(II) dapat dilepaskan dari matriks polimer dengan HNO_3 2 M. Keberhasilan sintesis Co(II)-IPs ditunjukkan dari hasil karakterisasi FTIR dan SEM-EDS. Terbentuknya ikatan antara MAA dan EGDMA ditandai dengan munculnya vibrasi C=O *stretching* dan C-O *stretching* serta hilangnya vibrasi C=C terkonjugasi C=O pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching* dan setelah *leaching*. NIPs memiliki morfologi permukaan yang relatif halus, sedangkan Co(II)-IPs permukaannya relatif kasar dan terbentuk *aggregated*. Co(II)-IPs setelah *leaching* memiliki lebih banyak mikropori dibandingkan Co(II)-IPs sebelum *leaching* dan NIPs. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan bahwa ion logam Co(II) dapat dilepaskan dari matriks polimer setelah dilakukan *leaching* menggunakan HNO_3 2 M. Kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs sebesar 18 mg/g pada pH 7 dengan waktu kontak 10 menit. Nilai koefisien selektivitas relatif Co(II)-IPs pada Co(II)/Ni(II), Co(II)/Cu(II), dan Co(II)/Pb(II) secara berturut-turut yaitu 1,08; 1,25; dan 1,77. Isoterm adsorpsi mengikuti isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir yang menandakan bahwa proses adsorpsi terjadi secara fisisorpsi dan kimisorpsi.

ABSTRACT

Badriyah, Faridatul. 2024. **Synthesis and Characterization of Co(II)-Imprinted Polymers using Methacrylic Acid as Co(II) ion Adsorbent.** Thesis. Chemistry Study Programme. Faculty of Science and Technology. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Siska Ela Kartika, M.Si. Supervisor II: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si

Keywords: Adsorption, Methacrylic Acid, Co(II)-Imprinted Polymers, and Cobalt

Heavy metal pollution is a serious problem because it cannot be degraded and can accumulate in the human body through the food chain. Therefore, environmental monitoring is necessary as an effort to assess water quality and control aquatic environmental pollution. Ion Imprinted Polymers (IIPs) are adsorbents with high selectivity for target metals because they possess cavities with matching size, charge, coordination geometry, and coordination number. In this study, Co(II)-Imprinted Polymers (Co(II)-IPs) were successfully synthesized through the polymerization of methacrylic acid (MAA) and ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) in the presence of a Co(II)-8-hydroxyquinoline complex. Co(II) ions could be removed from the polymer matrix using 2 M HNO₃. The successful synthesis of Co(II)-IPs was demonstrated through FTIR and SEM-EDS characterization results. The formation of bonds between MAA and EGDMA was indicated by the appearance of C=O stretching and C-O stretching vibrations, as well as the disappearance of the conjugated C=C vibration of C=O in NIPs, Co(II)-IPs before leaching, and after leaching. NIPs exhibited a relatively smooth surface morphology, whereas Co(II)-IPs displayed a relatively rough surface with aggregated formations. After leaching, Co(II)-IPs showed more micropores compared to Co(II)-IPs before leaching and NIPs. EDS characterization results indicated that Co(II) metal ions could be removed from the polymer matrix after leaching with 2 M HNO₃. The adsorption capacity of Co(II)-IPs was 18 mg/g at pH 7 with a contact time of 10 minutes. The relative selectivity coefficient values of Co(II)-IPs for Co(II)/Ni(II), Co(II)/Cu(II), and Co(II)/Pb(II) were 1.08, 1.25, and 1.77, respectively. The adsorption isotherm followed the Freundlich and Langmuir isotherms, indicating that the adsorption process occurred via both physisorption and chemisorption.

مستخلص البحث

البدرية، فريدة. ٢٠٢٤. تخليق وتوصيف البوليمرات المطبوعة من Co(II) باستخدام حمض الميثاكريليك كمادة ماصة لأيون Co(II) . بحث جامعي. قسم علم الكيمياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: سيسكا أيلّا كارتیکا، الماجستير. المشرفة الثانية: ليليك مفتاح الخيرية، الماجستير

الكلمات الأساسية: الامتزاز، وحمض الميثاكريليك، Co(II) -البوليمرات المطبوعة، الكوبالت

كان التلوث بالمعادن الثقيلة مشكلة خطيرة لأنها لا يمكن تفكيكها ويمكن أن تتراكم في جسم الإنسان من خلال السلسلة الغذائية. لذلك، يلزم إجراء المراقبة البيئية جهدا لمراقبة جودة المياه والسيطرة على التلوث البيئي للمياه. والبوليمرات المطبوعة الأيونية (IIPs) هي عبارة عن مواد ماصة ذات انتقائية عالية على أيونات المعادن المستهدف لأنها تحتوي على تجاويف (جوية) لها نفس المقدار والشحنة وهندسة التنسيق ورقم التنسيق مع أيون المعدن المستهدف. وفي هذا البحث، تم تصنيع البوليمرات المطبوعة (Co(II)-IPs) بنجاح من خلال بلعمة حمض الميثاكريليك (MAA) وثنائي ميثاكريلات جلايكول الإيثيلين (EGDMA) بوجود Co(II)-8 - مركب الهيدروكسي كينولين. ويمكن إطلاق أيونات Co(II) من قالب البوليمر باستخدام HNO_3 من $\text{M } 2$. وقد تم توضيح نجاح تخليق Co(II)-IPs من خلال نتائج توصيف FTIR و SEM-EDS. ويكون تكوين الروابط بين MAA و EGDMA بظهور اهتزازات التمدد C=O و اهتزازات التمدد C-O بالإضافة إلى اختفاء اهتزازات C=C المترافقة مع C=O في NIPs و Co(II)-IPs قبل الترشيع، و Co(II)-IPs بعد الترشيع. وتتميز NIPs بتشكيل سطح أملس نسبياً، بينما Co(II)-IPs لها سطح خشن نسبياً وتشكل مجتمّع. وتحتوي Co(II)-IPs بعد الترشيع على مسام صغيرة أكثر من Co(II)-IPs قبل الترشيع و NIPs. ثم تظهر نتائج توصيف EDS أنه يمكن إطلاق أيونات المعدن Co(II) من قالب البوليمر بعد الترشيع باستخدام $\text{M } 2$ من HNO_3 . وتبلغ قدرة امتصاص Co(II)-IPs ١٨ مجم/جم عند درجة الحموضة ٧ بوقت اتصال قدره ١٠ دقائق. فقيم معامل الانتقائية النسبية لـ Co(II)-IPs على Co(II)/Ni(II) ، و Co(II)/Cu(II) ، و Co(II)/Pb(II) على التوالي هي ١٠٠٨، ١٠٢٥، و ١٠٧٧. و ايزوثرم الامتزاز يتبع لفرونديتش ولاإنجموير، مما يشير إلى أن عملية الامتزاز تحدث عن طريق الامتصاص الفيزيائي والامتصاص الكيميائي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan logam berat di alam dapat menurunkan kualitas lingkungan karena sifatnya bioakumulatif dan biomagnifikasi sehingga dapat membahayakan kehidupan akuatik dan manusia (Kumar, dkk., 2019). Logam berat bersifat racun bagi manusia bahkan dalam jumlah kecil karena dapat terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan (Sonone, dkk., 2021). Sumber pencemaran logam berat berasal dari erosi tanah, gunung berapi, dan sebagian besar berasal dari aktivitas manusia seperti pertambangan, pelepasan gas-gas berbahaya, batu bara, dan limbah industri. Pencemaran ion kobalt berasal dari berbagai industri seperti industri metalurgi, pelapisan logam, manufaktur baterai (Song, dkk., 2022), penyamakan kulit (Imdad dan Dohare, 2022), dan pembangkit listrik tenaga nuklir (Choudhury, dkk., 2022). Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya yaitu logam berat tidak dapat diuraikan (*nondegradable*) oleh mikroorganisme dan terakumulasi ke lingkungan terutama mengendap di dasar perairan (Hariyoto, dkk., 2019). Kerusakan lingkungan di muka bumi terjadi karena perbuatan manusia sendiri yang mengabaikan aspek lingkungan sehingga perbuatan manusia perlu dibatasi sebagaimana yang difirmankan oleh Allah SWT dalam al-Qur'an Surat ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”*

Istilah fasaad dalam surat ar-Rum ayat 41 menurut Al-Raghib Al-Ashfahani dapat dimaknai sebagai sesuatu yang menyimpang dari keseimbangan sedangkan menurut ulama kontemporer istilah fasaad dapat diartikan sebagai kerusakan lingkungan (Nurhayati, 2018). Al-Quran dan sunnah memperingatkan umat Islam agar tidak mencelakai diri dan lingkungan sekitarnya (لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ). Banyak ayat dalam al-Quran yang membahas tentang lingkungan hidup dan larangan merusaknya. Hal ini menunjukkan besarnya perhatian al-Quran terhadap lingkungan. Al-Quran mengatur etika pengelolaan lingkungan dan memandang tindakan kerusakan sebagai tindakan yang menimbulkan bahaya bagi keberlangsungan hidup makhluk hidup, maka perlu dilakukan tindakan konkret untuk menanggulangi kerusakan yang sudah terjadi (Ramadhan, 2019).

Paparan ion kobalt (Co) dalam jangka panjang dapat menyebabkan beberapa masalah seperti gangguan pernapasan, gangguan jantung, disfungsi hati, disfungsi ginjal, mutasi genetik, dan kanker (Waheed, dkk., 2021). *World Health Organization* (WHO) dan *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) menetapkan bahwa kandungan kobalt

dalam air tidak boleh melebihi 0,05 mg/L (Azra, dkk., 2022). Instrumen yang umum digunakan untuk analisis Co(II) adalah *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Konsentrasi kobalt (Co) yang rendah dan adanya gangguan matriks menyebabkan analisis kobalt secara langsung dari sampel lingkungan menggunakan AAS sulit dilakukan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu metode pemisahan (Li dan Yang, 2021). Metode yang dapat digunakan untuk pemisahan ion logam antara lain ekstraksi cair-cair, resin penukar ion, dan ekstraksi fase padat atau *Solid Phase Extraction* (SPE). SPE adalah metode ekstraksi yang menggunakan fase padat untuk mengisolasi analit dari suatu larutan. Kelebihan dari SPE adalah penggunaannya yang mudah, waktu analisis yang cepat, dan umumnya hanya membutuhkan pelarut dengan volume yang kecil (Tian, dkk., 2019). SPE menggunakan C18, silika gel, resin penukar ion, dan resin pengkhelet telah banyak digunakan untuk pemisahan unsur renik. Adsorben ini merupakan adsorben konvensional sehingga kurang selektif untuk diaplikasikan pada sampel lingkungan. Kunci dari keberhasilan SPE adalah pemilihan adsorben yang selektif. Beberapa penelitian melaporkan bahwa selektivitas SPE dapat ditingkatkan dengan menggunakan *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) (El Ouardi, dkk., 2021). IIPs merupakan adsorben yang memiliki selektivitas tinggi terhadap ion logam target.

Sintesis IIPs diawali dengan pembentukan senyawa kompleks antara ion logam dengan ligan. Sintesis dilanjutkan dengan polimerisasi antara senyawa kompleks, monomer, dan pengikat silang. Ion logam target dilepaskan dari matriks polimer sehingga terbentuk rongga (*cavity*) pada polimer yang memiliki kesamaan ukuran, muatan, geometri koordinasi, dan bilangan koordinasi dengan ion logam target. Polimer yang dihasilkan memiliki afinitas atau daya tarik yang kuat terhadap ion logam target sehingga terbentuk polimer yang selektif (Zhao, dkk., 2022). IIPs memiliki kelebihan yaitu selektivitas tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi, stabilitas termal, ketahanan kimia, dan metode sintesis yang mudah (Felix, dkk., 2023)

Wirawan, dkk. (2018) melaporkan sintesis *Zn(II)-Imprinted Polymers* untuk prakonsentrasi ion Zn(II) menggunakan Zn(II) sebagai *template*, 8-hidroksikuinolin (8HQ) sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilena glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, benzoil peroksida sebagai inisiator, dan etanol/asetonitril sebagai porogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Zn(II)-Imprinted Polymers* dapat digunakan sebagai adsorben selektif untuk analisis Zn(II) dengan metode SPE-FAAS. Hu, dkk. (2016) berhasil mensintesis *Pb(II)-Imprinted Polymers* menggunakan Pb(II) sebagai *template*, 8-hidroksikuinolin (8HQ) sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, dan azobisisobutironitril (AIBN) sebagai inisiator. Penelitian ini menghasilkan sensor berbasis IIPs untuk mendeteksi ion Pb(II). Penelitian yang dilakukan Isikver dan Baylav (2018) melaporkan bahwa Co(II) dapat membentuk kompleks dengan 8-hidroksikuinolin (8HQ).

Pertimbangan inilah yang mendasari bahwa untuk adsorpsi ion Co(II) dapat digunakan *Co(II)-Imprinted Polymers* dengan prekursor Co(II) sebagai *template*, 8-hidroksikuinolin (8HQ)

sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, dan azobisisobutironitril (AIBN) sebagai inisiator. Penelitian dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam polimer dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi. Penentuan pH optimum, waktu kontak optimum, kapasitas adsorpsi, isoterm adsorpsi, dan selektivitas dari *Co(II)-Imprinted Polymers* dilakukan dengan menggunakan metode *batch*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana hasil karakterisasi gugus fungsi dan morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam *Co(II)-Imprinted Polymers* menggunakan FTIR dan SEM-EDS?
- b. Bagaimana kapasitas adsorpsi *Co(II)-Imprinted Polymers* terhadap ion Co(II)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui hasil karakterisasi gugus fungsi dan morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam *Co(II)-Imprinted Polymers* menggunakan FTIR dan SEM-EDS.
- b. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi *Co(II)-Imprinted Polymers* terhadap ion Co(II).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. *Template* yang digunakan adalah ion Co(II).
- b. Karakterisasi gugus fungsi dan morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam *Co(II)-Imprinted Polymers* menggunakan FTIR dan SEM-EDS.
- c. Karakterisasi sifat adsorpsi meliputi pH optimum, waktu kontak optimum, kapasitas adsorpsi, selektivitas, dan isoterm adsorpsi
- d. Isoterm adsorpsi yang digunakan adalah isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dengan memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat tentang metode sintesis, hasil karakterisasi gugus fungsi, morfologi permukaan, serta komposisi unsur yang terkandung dalam polimer, kapasitas adsorpsi, isoterm adsorpsi, dan selektivitas dari *Co(II)-Imprinted*

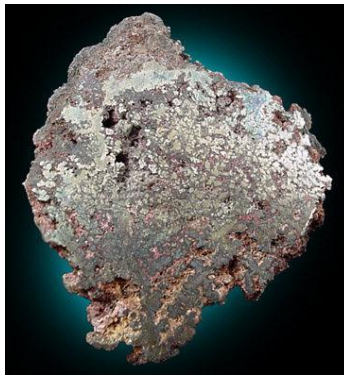
Polymers. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan alternatif dalam analisis ion Co(II) pada sampel lingkungan dengan konsentrasi rendah dan matriks yang kompleks.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kobalt

Kobalt (Co) merupakan unsur yang memiliki kekerasan yang baik, tahan panas, dan memiliki sifat magnetik sehingga ion kobalt banyak digunakan secara luas di berbagai bidang industri. Pencemaran kobalt (Co) dapat berasal dari penambangan, peleburan, penyamakan kulit, pelapisan logam, manufaktur baterai, elektrokimia, cat, dan pigmen (Quiton, dkk., 2022). Pembuangan limbah industri yang mengandung ion kobalt dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta ancaman kesehatan bagi manusia. Paparan kobalt (Co) dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti penyakit hati, ginjal, anemia, disfungsi otak, dan dalam kasus yang ekstrim dapat menyebabkan kematian (Ara, dkk., 2020). Gambar kobalt ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kobalt

Kobalt (Co) memiliki beberapa karakteristik seperti memiliki valensi dan bilangan oksidasi berbeda yang membuatnya dapat digunakan sebagai katalis, tahan korosi, tahan panas, serta memiliki sifat feromagnetik sehingga dapat dimagnetisasi (Dehaine, dkk., 2021). *World Health Organization* (WHO) dan *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) menetapkan kandungan kobalt dalam air tidak boleh melebihi 0,05 mg/L (Azra, dkk., 2022). AAS adalah instrumen yang umum digunakan untuk analisis kobalt. Konsentrasi kobalt yang rendah di perairan menyebabkan analisis kobalt dalam sampel lingkungan secara langsung menggunakan AAS sulit dilakukan sehingga diperlukan prosedur pemisahan (El-Shamy, dkk., 2019). Metode yang dapat digunakan untuk pemisahan ion logam antara lain ekstraksi cair-cair, resin penukar ion, dan ekstraksi fase padat atau SPE.

SPE adalah metode ekstraksi yang menggunakan fase padat untuk mengisolasi analit dari suatu larutan. Kelebihan dari SPE ini adalah penggunaannya yang mudah, waktu analisis yang cepat, dan umumnya hanya membutuhkan pelarut dengan volume yang kecil. SPE menggunakan resin pengkhat, C18, dan silika gel telah banyak digunakan untuk pemisahan ion logam (Ara, dkk., 2018). *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) merupakan adsorben yang dapat digunakan untuk meningkatkan selektifitas metode SPE (El Ouardi, dkk., 2021). Hal tersebut

menunjukkan bahwa segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan pasti memiliki manfaat, sebagaimana yang Allah SWT firmankan dalam Q.S. Ali 'Imran ayat 191 sebagai berikut:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: *"(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka"*

Shihab dalam Tafsir Al-Misbah menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan langit dan bumi juga segala yang ada di antara keduanya dengan tata aturan yang rapi, indah, serta harmonis. Hal ini menunjukkan bahwa Allah SWT tidak bermain-main yakni tidak menciptakan langit dan bumi secara sia-sia tanpa arah dan tujuan yang benar. Segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan pasti memiliki manfaat yang dapat diambil oleh manusia, seperti IIPs yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi ion logam kobalt. Adanya integrasi ayat ini berfungsi agar akal manusia digunakan untuk berpikir dan berdzikir sebagai satu kesatuan yang harus ada pada setiap muslim agar mampu mengambil hikmah dari kekuasaan Allah SWT (Indriani, 2022).

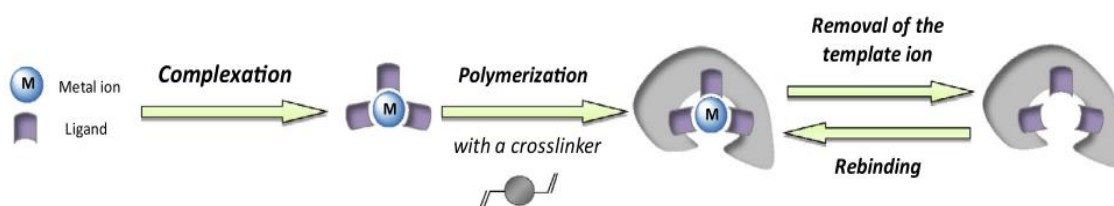
2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya atom atau molekul suatu zat pada permukaan zat lain karena ketidakseimbangan gaya pada permukaan. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi secara fisika (fisorpsi) dan adsorpsi secara kimia (kimisorpsi). Pada proses adsorpsi secara fisika, gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya-gaya van der Waals. Adsorpsi secara kimia terjadi karena adanya ikatan ion dan kovalen antara adsorben dan adsorbat (Meila Anggriani, dkk., 2021). Adsorpsi umum digunakan untuk menghilangkan logam berat pada lingkungan perairan karena kesederhanaan operasinya dan kelayakan teknisnya (Amalia, dkk., 2022). Beberapa adsorben yang dapat digunakan untuk pengolahan ion kobalt pada limbah industri beserta nilai kapasitas adsorpsinya adalah karbon aktif 5,8 mg/g (Conte, dkk., 2023), zeolite 10,39 mg/g (Jin, dkk., 2015), *carbonaceous* 15 mg/g (Namin, 2016), kitosan 2 mg/g (Zhuang, dkk., 2017). dan *ion imprinted polymers* 15,38 mg/g (Yusof, dkk., 2019).

2.3 Ion Imprinted Polymers (IIPs)

IIPs adalah polimer yang selektif terhadap ion logam target karena memiliki situs pengikatan spesifik yang dirancang untuk mengenali ukuran, bentuk, dan muatan ion logam tertentu. IIPs memiliki kelebihan yaitu selektivitas tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi,

stabilitas termal, dan ketahanan kimia. IIPs telah mendapatkan perhatian banyak peneliti karena memiliki potensi untuk adsorpsi ion logam (Jamoussi, dkk., 2023). Selain itu IIPs mudah disintesis, relatif murah, dan stabil pada suhu kamar. Sintesis IIPs didasarkan pada tiga langkah yaitu pembentukan senyawa kompleks antara ion logam (*template*) dan ligan, polimerisasi senyawa kompleks dengan monomer dan *crosslinker* (pengikat silang), dan pelepasan ion logam target (*template*) dari matriks polimer sehingga terbentuk rongga (*cavity*) yang dapat digunakan untuk pengikatan ulang ion logam target secara selektif (Dehaine, dkk., 2021). Mekanisme umum sintesis IIPs ditampilkan pada Gambar 2.2.

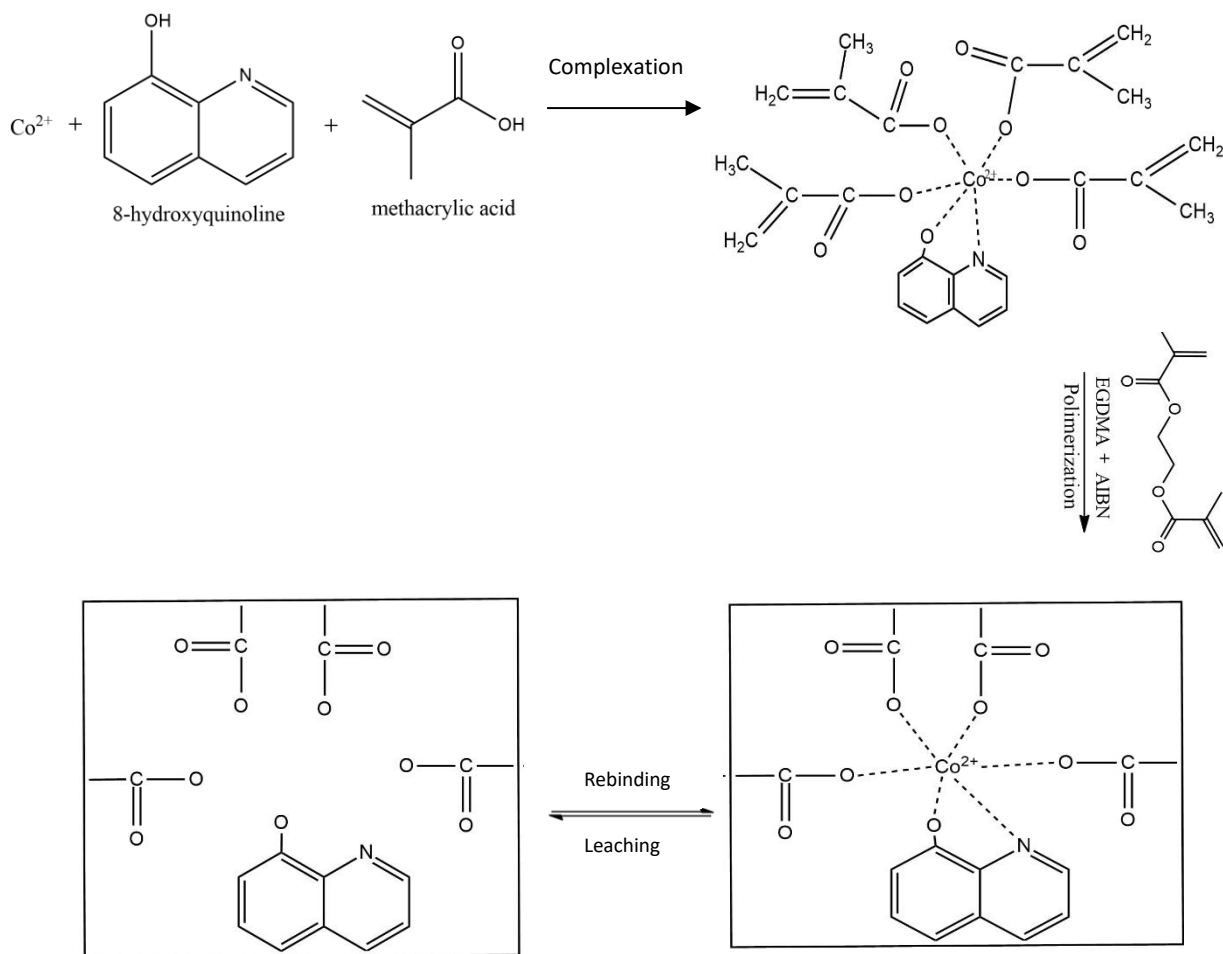


Gambar 2.2 Langkah-langkah sintesis *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) (Branger, dkk., 2013)

Komponen utama dalam sintesis IIPs selain ion logam yang menjadi *template* adalah ligan, monomer, pengikat silang, inisiator, dan porogen. Ligan memiliki peran penting dalam interaksi antara polimer dan ion logam. Interaksi ini terjadi melalui khelasi ion akibat sumbangan satu atau lebih pasangan elektron bebas oleh ligan (El Ouardi, dkk., 2021). Ligan 8-Hidroksikuinolin (8-HQ) merupakan agen pengompleks beberapa logam. Penelitian yang dilakukan Isikver dan Baylav (2018) melaporkan bahwa Co(II) dapat membentuk kompleks dengan 8-*hidroksikuinolin* (8HQ). Interaksi *template* bergantung pada jenis ikatan monomer. Asam metakrilat digunakan sebagai monomer pada polimerisasi *ion imprinted polymers* karena mampu membentuk ikatan hidrogen dengan *template* (Maimuna, 2020). *Crosslinker* berfungsi untuk mengikat monomer-monomer dalam suatu polimer (Anzulmi, dkk., 2020). Salah satu *crosslinker* yang sering digunakan dalam sintesis IIPs adalah etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), EDGMA dapat berinteraksi dengan gugus fungsi MAA dan menghasilkan IIPs yang stabil dan kaku (Asni dan Sianita, 2020).

Wirawan, dkk. (2018) melaporkan sintesis Zn(II)-*Imprinted Polymers* untuk prakonsentrasi ion Zn(II) menggunakan Zn(II) sebagai *template*, 8-*hidroksikuinolin* (8HQ) sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilena glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, benzoil peroksida sebagai inisiator, dan etanol/asetonitril sebagai porogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Zn(II)-*Imprinted Polymers* dapat digunakan sebagai adsorben selektif untuk analisis Zn(II) dengan metode SPE-FAAS. Hu, dkk. (2016) berhasil mensintesis Pb(II)-*Imprinted Polymers* menggunakan Pb(II) sebagai *template*, 8-*hidroksikuinolin* (8HQ) sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, dan azobisisobutironitril (AIBN) sebagai inisiator.

Penelitian ini menghasilkan sensor berbasis IIPs untuk mendeteksi ion $Pb(II)$. Mekanisme pembentukan $Co(II)$ -IPs ditampilkan pada Gambar 2.3.

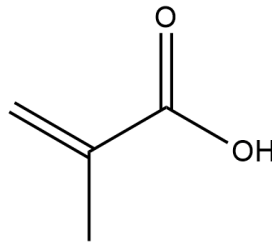


Gambar 2.3 Mekanisme pembentukan $Co(II)$ -IPs (Isikver dan Baylav, 2018)

2.4 Asam Metakrilat

Asam metakrilat (MAA) adalah kristal tidak berwarna atau cairan transparan dengan bau menyengat dengan rumus kimia $C_4H_6O_2$. Asam metakrilat digunakan sebagai monomer yang menunjukkan reaksi dimerisasi sehingga dapat meningkatkan efek *imprinting* polimer (Maimuna, 2020). Asam metakrilat memiliki kestabilan dan daya tahan yang kuat sehingga biasa digunakan untuk lapisan pelindung, perekat, menghilangkan gelembung/*bubble* pada resin, dan penjernih resin. Senyawa ini termasuk dalam kategori asam karboksilat. MAA umumnya digunakan sebagai pelarut organik. Dalam skala industri, MAA digunakan sebagai prekursor ester asam metakrilat dan bahan polimer seperti poly(methacrylic acid) (Lebeau,

dkk ., 2020). Molekul asam metakrilat memiliki gugus metil yang terikat pada gugus alkena dan gugus karboksilat. Asam metakrilat ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Asam metakrilat (Isikver dan Baylav, 2018)

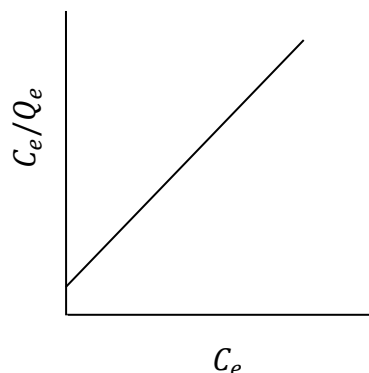
2.5 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah proses adsorpsi yang berlangsung pada suhu tetap. Isoterm mengacu pada hubungan antara kesetimbangan konsentrasi adsorbat dalam fasa cair dan kesetimbangan adsorpsi dalam fasa padat pada suhu tertentu (Zhuang dan Wang, 2021). Model isoterm adsorpsi dapat memberikan informasi tentang kapasitas adsorpsi maksimum yang penting dalam evaluasi kinerja adsorben. Model isoterm adsorpsi yang umum digunakan dalam adsorpsi adalah isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Anggriani, dkk., 2021).

Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan isoterm adsorpsi yang digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada monolayer atau satu lapis adsorbat di permukaan adsorben yang mengandung sejumlah situs aktif (Al-Ghouti dan Da'ana, 2020). Isoterm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia. Evaluasi adsorpsi adsorbat dalam adsorben dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan model isoterm adsorpsi Langmuir yang dituliskan pada persamaan 2.1 (Anggriani, dkk., 2021).

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m \cdot K_L} + \frac{C_e}{Q_m} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana Q_e merupakan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g), Q_m merupakan kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g), K_L merupakan konstanta Langmuir (L/mg), dan C_e merupakan konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan adsorpsi (mg/L). Konstanta Q_m dan K_L diperoleh dari perpotongan dan kemiringan pada plot linear antara C_e/Q_e sebagai sumbu y terhadap C_e sebagai sumbu x. Grafik yang diperoleh adalah garis linier dengan intersep $1/Q_m \cdot K_L$ dan slope $1/Q_m$. Grafik isoterm adsorpsi Langmuir ditampilkan pada Gambar 2.5.

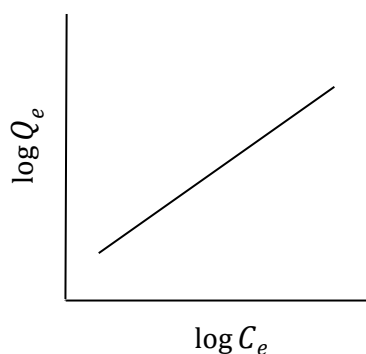


Gambar 2.5 Grafik isoterm adsorpsi Langmuir

Isoterm adsorpsi Freundlich diasumsikan bahwa energi permukaan bersifat heterogen dan dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada multilayer (Anugrahwati, dkk., 2021). Isoterm adsorpsi Freundlich digunakan untuk menggambarkan adsorpsi fisika. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dapat ditulis dalam bentuk linier seperti persamaan 2.2 (Anggriani, dkk., 2021).

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana Q_e merupakan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g), K_f merupakan konstanta Freundlich (L/mg), n merupakan intensitas adsorpsi, dan C_e merupakan kapasitas adsorbat pada kesetimbangan (mg/L). Data yang diperoleh kemudian diplotkan dengan $\log Q_e$ sebagai sumbu y dan $\log C_e$ sebagai sumbu x . Grafik yang dihasilkan merupakan garis linear dimana $1/n$ adalah slope dan K_f adalah intersep. Grafik isoterm adsorpsi Freundlich ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik isoterm adsorpsi Freundlich

2.6 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam sampel gas, cair, dan padat dengan menggunakan radiasi inframerah. Molekul aktif IR adalah molekul yang memiliki momen dipol. Ketika radiasi IR berinteraksi dengan ikatan kovalen dari

sampel yang memiliki momen dipol, molekul akan menyerap energi dan ikatan dalam molekul memulai osilasi bolak-balik. Oleh karena itu, osilasi yang menyebabkan perubahan momen dipol dari molekul harus menyerap radiasi IR (Khan, dkk., 2018). Radiasi IR adalah sekelompok gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih panjang dari radiasi tampak, gelombang ini tidak terlihat oleh mata manusia. IR dibagi menjadi tiga daerah yaitu IR dekat, IR tengah, dan IR jauh (Fadlelmoula, dkk., 2022).

FTIR terdiri dari empat bagian utama yaitu sumber sinar, *beam splitter*, interferometer, dan detektor. Sumber sinar dibuat dari filamen *Nernst* atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik pada suhu 1000–1800°C. *Beam splitter* terbuat dari bahan transparan dengan indeks bias yang memungkinkan sebagian cahaya diteruskan dan sebagian lainnya dipantulkan. *Beam splitter* berperan dalam memisahkan berkas cahaya menjadi dua jalur yaitu berkas acuan dan berkas cuplikan. Berkas acuan dan berkas cuplikan kemudian masuk ke dalam interferometer. Interferometer merupakan komponen yang berfungsi untuk membentuk interferogram yang akan diteruskan ke detektor. Detektor adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur energi yang dihasilkan (Putri, dkk., 2020). Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran spektrum menggunakan FTIR yaitu *Photo Acoustic Spectroscopy* (PAS), *Attenuated Total Reflectance* (ATR), dan *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT) (Bekiaris, dkk., 2020). *Attenuated Total Reflectance* (ATR-FTIR) adalah metode cepat yang digunakan sebagai langkah awal dalam karakterisasi material. Keunggulan ATR ialah pengukuran bersifat nondestruktif dan tidak membutuhkan persiapan sampel yang rumit sehingga proses analisisnya lebih cepat. ATR bekerja berdasarkan prinsip refleksi internal total dan mengukur perubahan pada sinar inframerah yang dipantulkan secara internal saat berinteraksi dengan sampel melalui kristal *zinc selenide* (ZnSe) atau berlian (Asnawi, dkk., 2021).

Tabel 2.1 Bilangan gelombang dari spektra Pb(II)-IPs

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) (Rif'ah, 2023)	Referensi (cm ⁻¹)
C=C terkonjugasi C=O	1690,06	1693,38 cm ⁻¹ (Wirawan, dkk., 2019)
C=O <i>stretching</i>	1722,86	1725-1705 cm ⁻¹ (Socrates, 2001)
C=C	1635,86	1680-1620 cm ⁻¹ (Socrates, 2001)
C-C	1253,63	1300-1000 cm ⁻¹ (Lambert, 1987)
C-O <i>stretching</i>	1148,10	1260-1000 cm ⁻¹ (silverstein dan Webster, 1991).
C-H <i>bending</i>	951,29	1000-650 cm ⁻¹ (Lambert dkk., 1987)

2.7 **Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)**

SEM merupakan suatu instrumen yang dapat menghasilkan gambar dengan perbesaran 300.000x hingga 1.000.000x. SEM memanfaatkan hamburan balik elektron (*electron beam*) pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan objek. Analisis SEM memungkinkan mendapatkan hasil citra morfologi permukaan suatu objek (Septiano dan Setyaningsih, 2021). Rif'ah (2023) melaporkan bahwa morfologi permukaan Pb(II)-IPs setelah *leaching* memiliki pori dengan jumlah dan ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan Pb(II)-IPs sebelum *leaching* dan NIPs.

EDS merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam sampel melalui pancaran elektron yang ditembakkan pada sampel. Pada hakikatnya, metode EDS hampir sama dengan metode XRF namun pemindaian EDS dapat dilakukan pada daerah yang relatif kecil. SEM juga dapat digunakan untuk mengetahui sebaran unsur (*mapping*) dalam sampel (Bahfie, dkk., 2022). SEM-EDS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan semi-kuantitatif. SEM-EDS memiliki potensi untuk memberi informasi tentang komposisi suatu material (Mohammed dan Abdullah, 2019).

2.8 **Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)**

AAS merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atom. Sampel yang diukur harus dalam bentuk larutan jernih. Prinsip AAS yaitu memecah molekul sampel menjadi atom-atom menggunakan api atau listrik. Atom-atom dalam keadaan dasar dapat menyerap cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya sehingga tereksitasi. Elektron akan tereksitasi ke orbital yang lebih tinggi dengan menyerap energi radiasi pada panjang gelombang tertentu (Sugito, 2021). Sampel diatomisasi dengan nyala maupun dengan tungku. Pada atomisasi, temperatur harus benar-benar terkendali agar proses atomisasi dapat berlangsung secara sempurna. Temperatur dinaikkan secara bertahap untuk menguapkan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Sumber radiasi harus bersifat kontinyu. Analisis dengan AAS menganut hukum Lambert Beer untuk menyatakan hubungan antara absorbansi yang terukur dengan konsentrasi sampel (Nurventi, 2019).

Terdapat dua jenis teknik AAS berdasarkan pada sumber nyalanya yaitu AAS nyala dan AAS-Grafit (tanpa nyala). Teknik AAS nyala umumnya menggunakan udara/asetilena sebagai sumber nyala. Pada proses ini pelarut diuapkan dan *chopper* akan memecah sampel menjadi butir-butir kabut yang kemudian membentuk aerosol. Setelah pengkabutan, campuran gas menuju burner (nyala) untuk proses pengatoman. Ketika cahaya dari lampu katoda berongga (dipilih berdasarkan elemen yang akan diukur) melewati awan atom, atom-atom tersebut menyerap sinar dari lampu, dan intensitasnya diukur dengan detektor, yang kemudian digunakan untuk menentukan kadar zat (Thermo, 2001). Detektor untuk menangkap cahaya

yang ditransmisikan oleh sampel dan mengubahnya menjadi energi listrik. Display atau tampilan mengubah sinar listrik dari detektor menjadi pembacaan yang berupa angka yang sesuai dengan hasil analisis. Prinsip kerja spektrofotometer adalah berdasarkan hukum *Lambert-Beer*, yaitu seberkas sinar dilewatkan suatu larutan pada panjang gelombang tertentu, sehingga sinar tersebut sebagian ada yang diteruskan dan sebagian lainnya diserap oleh larutan (Khopkar, 1990).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2024 – Oktober 2024 dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakterisasi SEM-EDS dilakukan di Laboratorium Polimer Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, botol semprot, pH meter, *magnetic stirrer*, *hot plate*, timbangan analitik, kertas saring, oven, Instrumen FTIR (Shimadzu), SEM-EDS (Jeol JSM-6510), dan AAS (AA240 Varian)

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Smartlab), 8-HQ (HIMEDIA), etanol (p.a), asetonitril (p.a), MAA (Sigma Aldrich), AIBN (Sigma Aldrich), EDGMA (Sigma Aldrich), HNO_3 (p.a), HCl (Merck), NaOH (Merck), nitrogen, aquades, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Smartlab), $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Merck), dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Merck).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah sintesis dan karakterisasi *Co(II)-Imprinted Polymers*. Sintesis *Co(II)-Imprinted Polymers* dilakukan menggunakan Co(II) sebagai template, 8-*hidroksikuinolin* (8-HQ) sebagai ligan, asam metakrilat (MAA) sebagai monomer, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker*, etanol dan asetonitril sebagai porogen, dan *azobisisobutyronitrile* (AIBN) sebagai inisiator. Karakterisasi morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam *Co(II)-Imprinted Polymers* dilakukan menggunakan SEM-EDS, sedangkan karakterisasi gugus fungsi dilakukan menggunakan FTIR. Penelitian ini dilanjutkan dengan penentuan pH optimum, waktu kontak optimum, kapasitas adsorpsi, selektivitas, dan isoterm adsorpsi dari *Co(II)-Imprinted Polymers* dengan menggunakan metode *batch*.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

- a. Sintesis *Co(II)-Imprinted Polymers*
- b. Karakterisasi gugus fungsi dan morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung dalam *Co(II)-Imprinted Polymers* menggunakan FTIR dan SEM-EDS

- c. Penentuan pH dan waktu kontak optimum
- d. Penentuan kapasitas adsorpsi Co(II)-*Imprinted Polymers* terhadap ion Co(II)
- e. Penentuan selektivitas Co(II)-*Imprinted Polymers* dengan adanya ion pengganggu Ni(II), Cu(II), dan Pb(II).
- f. Isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Sintesis Co(II)-*Imprinted Polymers* (Co(II)-IPs)

Sebanyak 0,0476 gram logam $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,2 mmol) dicampurkan dengan 0,072 gram (0,5 mmol) ligan 8-HQ kemudian ditambahkan dengan porogen etanol:asetonitril (2:1) 80 mL:40 mL. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Campuran ditambahkan 0,72 mL (8,5 mmol) asam metakrilat (MAA), 7,5 mL (40 mmol) etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), dan 1,2 mL (8 mmol) azo-bis-isobutyronitrile (AIBN). Campuran diaduk kembali menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Campuran dalam botol tertutup dimasukkan ke dalam *freezer* selama 30 menit selanjutnya dialiri nitrogen selama 5 menit. Campuran dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60°C selama 5 jam. Polimer dicuci dengan 100 mL larutan etanol lalu dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu 60°C . Ion Co(II) yang tercetak dalam matriks polimer kemudian *dileaching* menggunakan larutan HNO_3 2 M sebanyak 1 L dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam. Co(II)-IPs dikeringkan dalam oven selama 15 jam dengan suhu 60°C . *Non Imprinted Polymers* (NIPs) dibuat dengan cara yang sama tetapi tanpa penambahan kompleks Co(II)-8-hidroksikuinolin (Wirawan, dkk., 2018).

3.5.2 Karakterisasi Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur yang Terkandung dalam Polimer menggunakan SEM-EDS

Karakterisasi morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terkandung dalam NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dianalisis dengan SEM-EDS perbesaran 5.000 kali dan voltase 20 kV.

3.5.3 Karakterisasi Gugus Fungsi menggunakan FTIR

Karakterisasi gugus fungsi MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dilakukan menggunakan FTIR-ATR dimana sampel ditempatkan langsung pada pelat sampling dari atas jendela optik dengan kristal ATR, kemudian ditahan oleh sebuah penjepit kompresi *micrometer controlled* untuk memastikan kontak yang baik antara sampel dan kristal. Selanjutnya dilakukan analisis pada bilangan gelombang $3500\text{--}500\text{ cm}^{-1}$.

3.5.4 Pembuatan Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan pembuatan larutan stok Co(II) 1000 ppm. Larutan standar Co(II) dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dibuat dengan cara memindahkan 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 mL larutan Co(II) 1000 ppm ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan sampai tanda batas. Larutan standar dianalisis menggunakan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm. Data yang diperoleh selanjutnya dibuat kurva kalibrasi dengan cara memplotkan pada sumbu x yaitu konsentrasi dan sumbu y data absorbansi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.

3.5.5 Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa Co(II)-IPs memiliki kapasitas adsorpsi maksimum. Penentuan pH optimum dilakukan dengan cara mengontakkan 0,02 g Co(II)-IPs dengan 25 mL larutan Co(II) 6 ppm selama 30 menit pada pH 4, 5, 6, 7, dan 8. Nilai pH diatur dengan penambahan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Campuran kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm.

3.5.6 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan untuk mengetahui waktu kontak optimum yang diperlukan oleh ion Co(II) agar teradsorpsi oleh Co(II)-IPs. Penentuan waktu kontak dilakukan dengan cara mengontakkan 0,02 g Co(II)-IPs dengan 25 mL larutan Co(II) 6 ppm pada pH optimum dengan rentang waktu 5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit. Campuran kemudian disaring dan filtrat dianalisis menggunakan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm.

3.5.7 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan menggunakan metode *batch* dengan cara mengontakkan 0,02 g Co(II)-IPs atau NIPs dengan 25 mL larutan Co(II) dengan konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm pada pH dan waktu kontak optimum. Campuran kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan menggunakan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm. Analisis juga dilakukan pada larutan Co(II) sebelum dikontakkan dengan Co(II)-IPs dan NIPs. Larutan Co(II) sebelum dikontakkan dengan Co(II)-IPs dan NIPs diencerkan 20 kali, sedangkan larutan Co(II) setelah dikontakkan dengan Co(II)-IPs dan NIPs diencerkan 10 kali.

3.5.8 Pembuatan Kurva Standar Selektivitas Adsorpsi

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan pembuatan larutan standar logam Co(II), Ni(II), Cu(II), dan Pb(II) yang dibuat melalui pengenceran larutan $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm. Larutan standar dibuat dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm. Larutan standar dibuat dengan cara memindahkan 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 mL

masing-masing larutan Co(II), Ni(II), Cu(II), dan Pb(II) 1000 ppm ke dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan. Larutan standar dianalisis menggunakan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm untuk Co(II), panjang gelombang 232,1 nm untuk Ni(II), panjang gelombang 324,8 nm untuk Cu(II), dan panjang gelombang 283,3 nm untuk Pb(II). Data yang diperoleh selanjutnya dibuat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.

3.5.9 Penentuan Selektivitas Adsorpsi

Penentuan selektivitas dilakukan dengan menambahkan 0,025 g Co(II)-IPs atau NIPs ke dalam 30 mL larutan campuran dengan konsentrasi masing-masing ion Co(II), Ni(II), Cu(II) dan Pb(II) sebesar 10 ppm. Campuran yang digunakan adalah larutan Co(II) dan Ni(II), Co(II) dan Cu(II), serta Co(II) dan Pb(II). Campuran kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan menggunakan AAS pada panjang gelombang 240,7 nm untuk Co(II), panjang gelombang 232,1 nm untuk Ni(II), panjang gelombang 324,8 nm untuk Cu(II), dan panjang gelombang 283,3 nm untuk Pb(II).

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis Data FTIR

Data hasil karakterisasi MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* menggunakan FTIR berupa spektrum inframerah. Puncak serapan yang diperoleh dapat menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang terdapat dalam sampel. Frekuensi sinar infrared memiliki rentang 3500 - 500 cm⁻¹. Data kemudian dianalisis secara deskriptif.

3.6.2 Analisis Data SEM-EDS

Data hasil karakterisasi NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan SEM-EDS berupa gambar morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terkandung dalam Co(II)-IPs. Data hasil karakterisasi dianalisis secara deskriptif.

3.6.3 Analisis Data Penentuan pH Optimum

Data hasil penentuan pH optimum pada adsorpsi ion Co(II) dengan Co(II)-IPs menggunakan AAS berupa absorbansi. Selanjutnya dibuat grafik hubungan pH terhadap %Co(II) teradsorpsi. Nilai %Co(II) teradsorpsi dapat dihitung melalui persamaan (3.1) dengan C_0 merupakan konsentrasi awal Co(II) dalam larutan (mg/L) dan C_e merupakan konsentrasi Co(II) pada saat kesetimbangan (mg/L).

$$\% \text{Co(II) teradsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

3.6.4 Analisis Data Penentuan Waktu Kontak Optimum

Data hasil penentuan waktu kontak optimum pada adsorpsi Co(II) dengan Co(II)-IPs menggunakan AAS berupa absorbansi yang kemudian dapat dihitung %Co(II) teradsorpsi. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan antara waktu kontak terhadap %Co(II) teradsorpsi. Nilai %Co(II) teradsorpsi dapat dihitung melalui persamaan (3.1)

3.6.5 Analisis Data Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Data hasil penentuan kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs dan NIPs menggunakan AAS berupa absorbansi. Data yang didapatkan kemudian dibuat grafik hubungan antara konsentrasi ion Co(II) dan kapasitas adsorpsi (mg/g). Kapasitas adsorpsi dapat dihitung melalui persamaan (3.2) dengan Q_e merupakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g), C_0 merupakan konsentrasi awal larutan ion Co(II) (mg/L), C_e merupakan konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L), W merupakan massa adsorben (g), dan V merupakan volume larutan Co(II) (L).

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \dots\dots\dots (3.2)$$

3.6.6 Analisis Data Penentuan Selektivitas

Data hasil penentuan selektivitas Co(II)-IPs dan NIPs menggunakan AAS berupa absorbansi. Dari data tersebut dapat dibuat tabel koefisien distribusi (k_d), koefisien selektivitas (k), dan koefisien selektivitas relatif (k') serta grafik hubungan antara koefisien selektivitas (k) terhadap Co(II)-IPs dan NIPs. Data selektivitas adsorpsi dapat diperoleh dari persamaan (3.3), (3.4), dan (3.5) dengan k_d merupakan koefisien distribusi, Q_e merupakan adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g), C_e merupakan konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L), k merupakan koefisien selektivitas, dan k' merupakan koefisien selektivitas relatif.

$$k_d = \frac{Q_e}{C_e} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$k = \frac{k_d \text{ Co(II)}}{k_d \text{ (ion pengganggu)}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$k' = \frac{k(\text{Co(II)-IPs})}{k(\text{NIPs})} \dots\dots\dots (3.5)$$

3.6.7 Analisis Data Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi fasa cair dan adsorben pada suhu dan pH tertentu. Model isoterm adsorpsi yang sering digunakan dalam proses adsorpsi yaitu model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Mayangsari

dan Astuti, 2021). Persamaan isoterm Langmuir dapat ditulis pada persamaan 2.1 dan isoterm adsorpsi Freundlich pada persamaan 2.2. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dibuat dengan memplotkan hubungan antara C_e dengan C_e/Q_e sehingga diperoleh nilai regresi linier (R^2) dari persamaan $y = ax + b$ kemudian dikonversikan pada persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dibuat dengan memplotkan hubungan antara $\log C_e$ dan $\log Q_e$ sehingga diperoleh nilai regresi linier (R^2) dari persamaan $y = ax + b$ kemudian dikonversikan ke dalam persamaan isoterm adsorpsi Freundlich.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

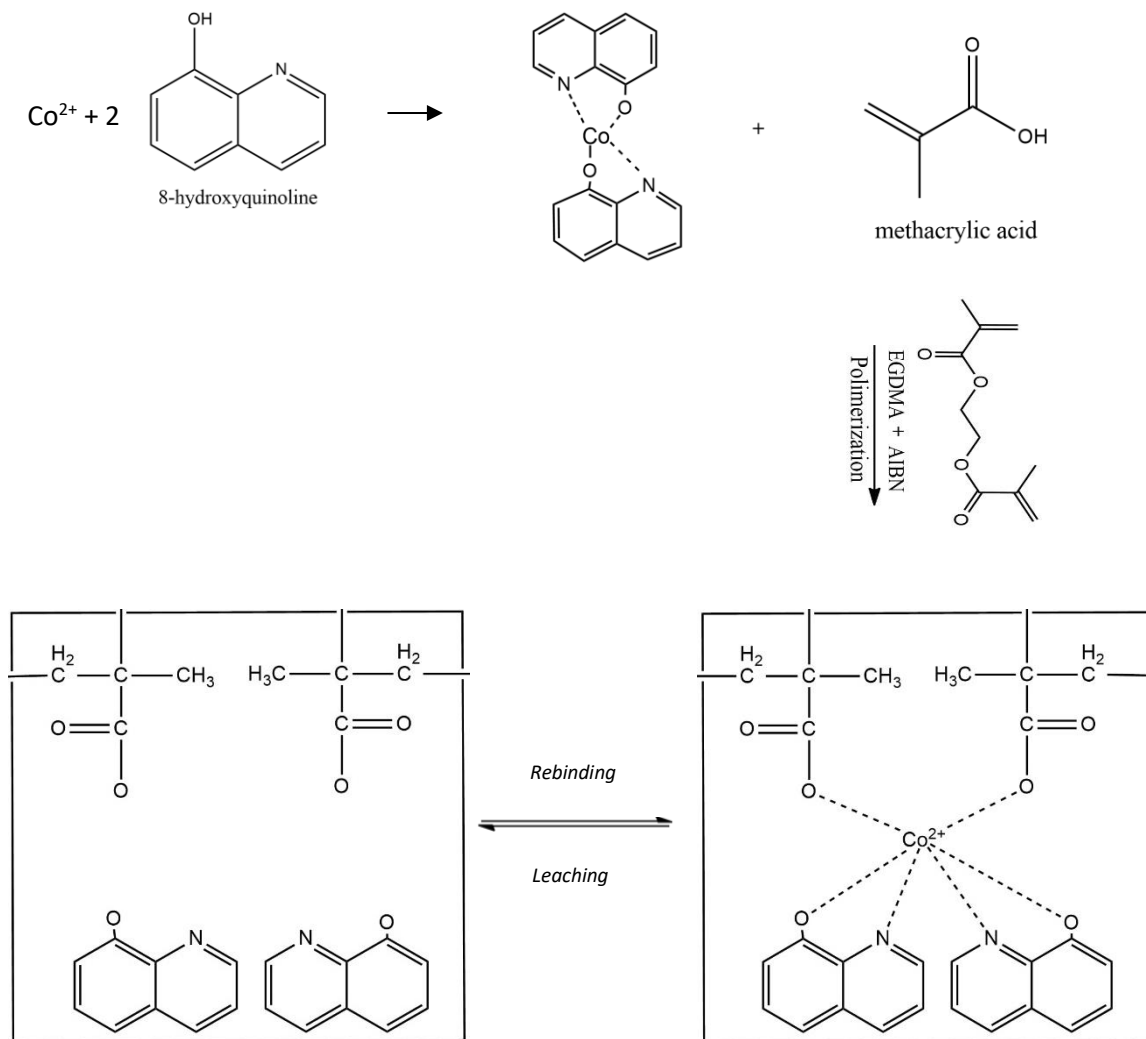
4.1 Sintesis Co(II)-Imprinted Polymers (Co(II)-IPs)

Sintesis Co(II)-IPs pada penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan. Tahap pertama pembentukan senyawa kompleks antara Co(II) dan ligan 8-hidroksikuinolin (8-HQ). Tahap kedua polimerisasi senyawa kompleks dengan monomer MAA dan *crosslinker* EGDMA. Tahap akhir adalah pelepasan ion logam target (*template*) dari matriks polimer menggunakan HNO₃ 2 M (Dehaine, dkk., 2021). Hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 4.1. Selama polimerisasi terjadi reaksi yang melibatkan gugus fungsi OH⁻ pada monomer MAA dan Co(II) yang berikatan dengan 8-HQ (Vasapollo, dkk., 2011). Keberadaan ligan 8-HQ membuat polimer menjadi kaku sehingga rongga yang tercetak tidak mudah rusak (Qiu, dkk., 2024). Co(II)-IPs merupakan polimer tiga dimensi yang dikelilingi oleh pengikat silang EGDMA yang berfungsi sebagai *backbone* dari polimer (Asni dan Sianita, 2021). Inisiator yang digunakan adalah AIBN yang berperan dalam pembentukan radikal bebas selama proses polimerisasi dengan suhu dekomposisi 50-70°C. AIBN juga berperan dalam meningkatkan laju polimerisasi (Phan, dkk., 2020).

Polimerisasi yang dilakukan pada suhu rendah (60°C) menghasilkan polimer dengan kemampuan selektivitas yang lebih baik dibandingkan polimer pada suhu tinggi. Hal ini juga dijelaskan dengan prinsip *Le Chatelier* yang menyatakan bahwa suhu rendah akan membantu kompleks pra-polimerisasi lebih stabil, mendorong pembentukan kompleks, dan meningkatkan jumlah serta kualitas rongga (Sajini dan Mathew, 2021). Pelepasan ion logam Co(II) dari matriks polimer dilakukan menggunakan HNO₃ 2 M yang bertugas untuk membentuk rongga (*cavity*) pada matriks polimer yang memiliki kesamaan muatan, ukuran, bilangan koordinasi, dan geometri koordinasi dengan ion logam Co(II) sehingga dapat meningkatkan selektivitas polimer (Ventura, dkk., 2018). Penggunaan etanol dan asetonitril pada sintesis Co(II)-IPs bertujuan untuk mempertahankan rantai polimer dan menentukan bentuk serta ukuran pori (Hermawan, dkk., 2021). Mekanisme reaksi pembentukan Co(II)-Imprinted polymers ditunjukkan pada Gambar 4.2.



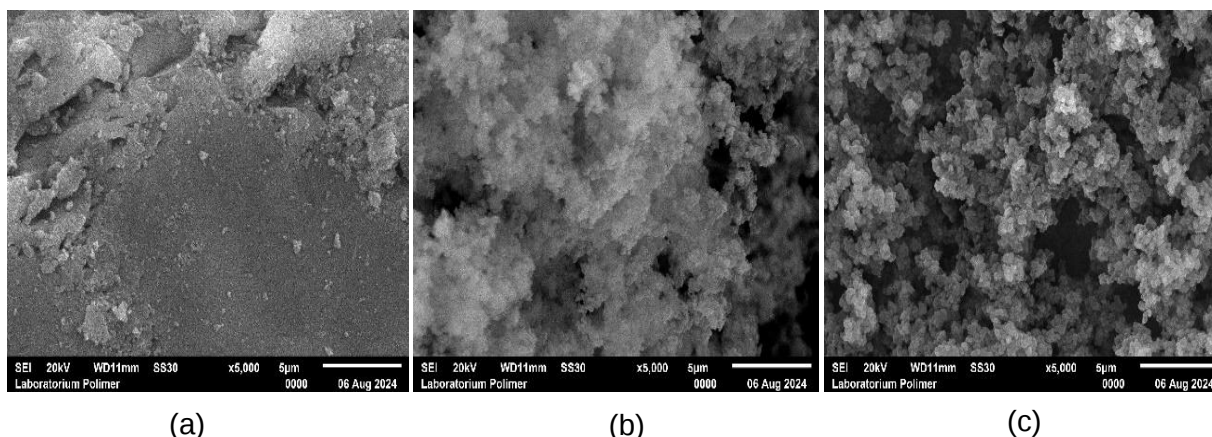
Gambar 4.1 Co(II)-IPs



Gambar 4.2 Reaksi pembentukan Co(II)-IPs

4.2 Karakterisasi Menggunakan *Scanning Elektron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS)

Karakterisasi SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan sebaran (komposisi) unsur penyusun NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching*. Karakterisasi SEM NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dianalisis menggunakan perbesaran 5.000x. Gambar 4.3 memperlihatkan morfologi permukaan NIPs yang relatif halus sedangkan morfologi permukaan Co(II)-IPs relatif kasar dan terbentuk *aggregated*. Sementara itu, permukaan Co(II)-IPs setelah *leaching* memiliki lebih banyak mikropori dibandingkan dengan Co(II)-IPs sebelum *leaching* yang memudahkan ion Co(II) untuk terikat (Isikver dan Baylav, 2018).



Gambar 4.3 SEM (a) NIPs, (b) Co(II)-IPs sebelum *leaching*, (c) Co(II)-IPs setelah *leaching*

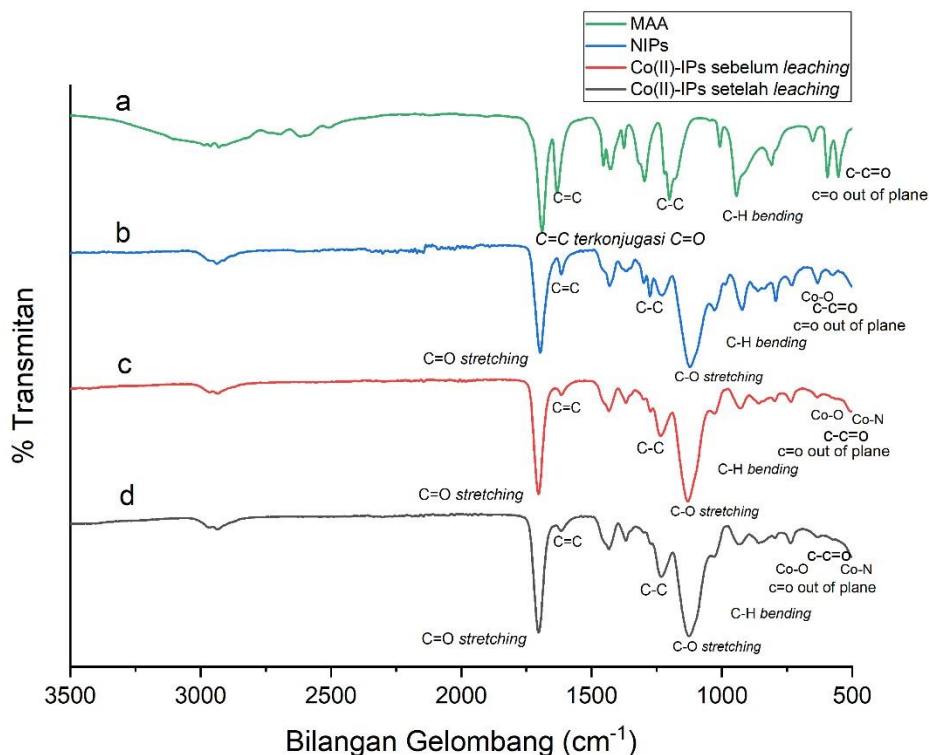
Analisa EDS dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil EDS menunjukkan bahwa Co(II)-IPs sebelum *leaching* memiliki % massa ion Co(II) sebesar 0,03% dan unsur logam Co tidak terdeteksi lagi pada Co(II)-IPs setelah *leaching*. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *leaching* ion Co(II) pada matriks polimer telah berhasil dilakukan dan telah terbentuk rongga (*cavity*) pada permukaan Co(II)-IPs (Hamed, dkk., 2023). Pada NIPs tidak ditemukan adanya ion Co(II) karena tidak dilakukan pencetakan ion Co(II) pada matriks polimer.

Tabel 4.1 Komposisi unsur dalam NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching*

Unsur	Massa (%)		
	NIPs	Co(II)-IPs sebelum <i>leaching</i>	Co(II)-IPs setelah <i>leaching</i>
C	56,43	60,77	63,81
O	43,57	39,20	36,19
Co		0,03	

4.3 Karakterisasi Menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada polimer dan jenis-jenis vibrasi antar atomnya dengan melihat kekuatan adsorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Jayanti, dkk., 2023). Hasil analisis FTIR pada daerah bilangan gelombang 3500-500 cm^{-1} digunakan untuk membandingkan gugus fungsional dari MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Spektre FTIR (a) MAA, (b) NIPs, (c) Co(II)-IPs sebelum *leaching*, (d) Co(II)-IPs setelah *leaching*

Keberhasilan sintesis Co(II)-IPs dan NIPs ditandai dengan hilangnya vibrasi C=C terkonjugasi C=O pada bilangan gelombang $1690,06 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi C=C terkonjugasi C=O berada pada bilangan gelombang $1639,38 \text{ cm}^{-1}$ (Wirawan, dkk., 2018). Keberhasilan sintesis Co(II)-IPs dan NIPs juga ditandai dengan munculnya vibrasi C-O *stretching* dan C=O *stretching* pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching*. Vibrasi C-O *stretching* muncul pada bilangan gelombang $1142,40$; $1150,95$; dan $1145,25 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi C-O *stretching* berada pada bilangan gelombang $1260\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$ (Silverstain dan Webster, 1991). Vibrasi C=O *stretching* muncul pada bilangan gelombang $1717,16$ dan $1722,86 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi C=O *stretching* berada pada bilangan gelombang $1725\text{-}1705 \text{ cm}^{-1}$ (Socrates, 2001). Hal ini mengindikasikan bahwa polimer antara MAA dan EGDMA telah terbentuk.

Terbentuknya ikatan antara MAA dan EGDMA juga ditandai dengan perubahan intensitas antara puncak MAA dengan puncak NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* pada vibrasi C=C, C-C, dan C-H *bending*. Vibrasi C=C pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan bilangan gelombang $1635,86 \text{ cm}^{-1}$ memiliki intensitas puncak yang kecil, sedangkan vibrasi C=C pada MAA dengan bilangan gelombang $1631,59 \text{ cm}^{-1}$ memiliki intensitas puncak lebih tajam. Vibrasi C=C berada pada bilangan gelombang $1680\text{-}1620 \text{ cm}^{-1}$ (Socrates, 2001). Vibrasi C-C pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan bilangan gelombang $1249,36$; $1255,07$; dan $1252,21 \text{ cm}^{-1}$ memiliki intensitas puncak yang kecil, sedangkan vibrasi C-C pada MAA dengan bilangan gelombang $1200,87 \text{ cm}^{-1}$ memiliki intensitas puncak yang

tajam. Vibrasi C-C berada pada bilangan gelombang 1300-1000 cm^{-1} (Lambert, 1987). Vibrasi C-H *bending* pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan bilangan gelombang 941,30; 948,43; dan 952,71 cm^{-1} memiliki intensitas puncak yang kecil, sedangkan vibrasi C-H *bending* pada MAA dengan bilangan gelombang 944,15 cm^{-1} memiliki intensitas puncak yang lebih tajam. Vibrasi C-H *bending* berada pada bilangan gelombang 1000-650 cm^{-1} (Lambert, 1987).

Tabel 4.2 Bilangan gelombang dari spektra FTIR MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching*

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				Referensi (cm^{-1})
	MAA	NIPs	Co(II)-IPs sebelum <i>Leaching</i>	Co(II)-IPs setelah <i>Leaching</i>	
C-H <i>stretching</i>	2929,44	2956,54	2955,11	2953,68	3000-2850 cm^{-1} (Lambert, dkk., 1987)
C=C terkonjugasi C=O	1690,06	-	-	-	1693,38 cm^{-1} (Wirawan, dkk., 2019)
C=O <i>stretching</i>	-	1717,16	1722,86	1722,86	1725-1705 cm^{-1} (Socrates, 2001)
C=C	1631,59	1635,86	1635,86	1635,86	1680-1620 cm^{-1} (Socrates, 2001)
C-C	1200,87	1249,36	1255,07	1252,21	1300-1000 cm^{-1} (Lambert, 1987)
C-O <i>stretching</i>	-	1142,40	1150,95	1145,25	1260-1000 cm^{-1} (Silverstein dan Webster, 1991)
C-H <i>bending</i>	944,15	941,30	948,43	952,71	1000-650 cm^{-1} (Lambert, 1987)
C=O <i>out of plane</i>	594,73	593,30	593,30	593,30	665-580 cm^{-1} (Socrates, 2001)
C-C=O	553,37	524,84	523,41	521,99	565-520 cm^{-1} (Socrates, 2001)
Co-O	-	526,27	526,27	527,69	525-599 cm^{-1} (Alkis, dkk., 2020)
Co-N	-	-	452,10	453,53	451-461 cm^{-1} (Alkis, dkk., 2020)

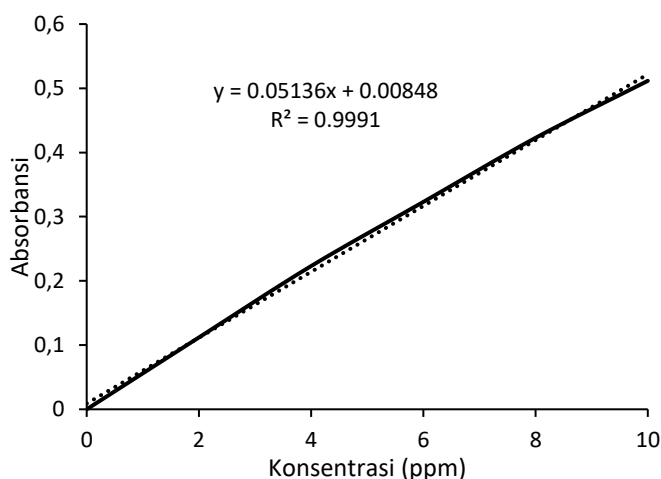
Pergeseran gugus fungsi ditandai pada vibrasi C=O *out of plane* dan C-C=O pada puncak MAA, NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching*. Vibrasi C=O *out of plane* pada MAA dengan bilangan gelombang 594,73 memiliki intensitas puncak yang lebih tajam, sedangkan NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan bilangan gelombang 593,30 cm^{-1} memiliki intensitas puncak yang kecil. Vibrasi C=O *out of plane* berada pada bilangan gelombang 665-580 cm^{-1} (Socrates, 2001). Vibrasi C-C=O pada NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* dengan bilangan gelombang 524,84; 523,41; dan 521,99 cm^{-1} memiliki intensitas puncak yang kecil, sedangkan vibrasi C-C=O pada MAA dengan bilangan gelombang 553,37 cm^{-1} memiliki intensitas puncak

yang tajam. Vibrasi C-C=O berada pada bilangan gelombang 565-520 cm^{-1} (Socrates, 2001). Pergeseran bilangan gelombang pada vibrasi C=O *out of plane* dan C-C=O mengindikasikan bahwa polimer antara MAA dan EGDMA telah terbentuk pada MAA, NIPs, dan Co(II)-IPs. Interaksi antara logam Co dengan NIPs, Co(II)-IPs sebelum *leaching*, dan Co(II)-IPs setelah *leaching* ditunjukkan oleh adanya pergeseran pada vibrasi Co-O dengan bilangan gelombang 526,27; 526,27; dan 527,69 cm^{-1} . Vibrasi Co-O berada pada bilangan gelombang 525-599 cm^{-1} (Alkis, dkk., 2020). Vibrasi Co-N pada Co(II)-IPs sebelum *leaching* dan Co(II)-IPs setelah *leaching* juga mengalami pergeseran dari bilangan gelombang 452,10 cm^{-1} ke bilangan gelombang 453,53 cm^{-1} . Vibrasi Co-N berada pada bilangan gelombang 451-461 cm^{-1} (Alkis, dkk., 2020). Buhani, dkk. (2011) melaporkan bahwa pergeseran bilangan gelombang pada Cd(II) dan Cu(II) *ionic imprinted amino silica* menunjukkan adanya interaksi ion Cd(II) dan Cu(II) dengan gugus aktif seperti OH dari silanol dan Si-O dari siloksan pada silika.

4.4 Optimasi Co(II)-Imprinted Polymers

4.4.1 Penentuan Kurva Standar

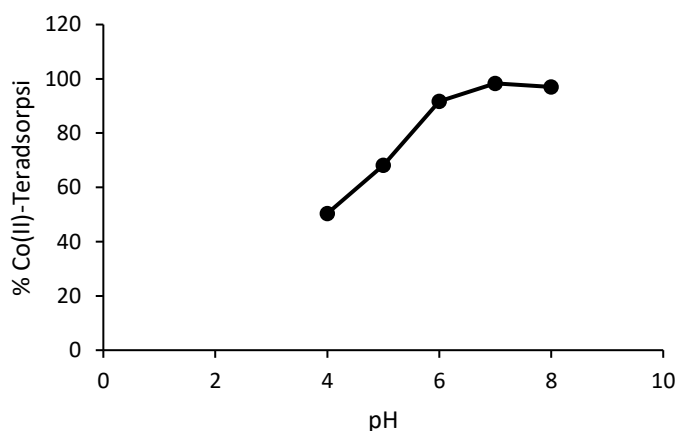
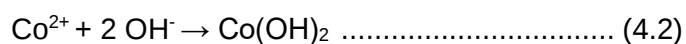
Analisis menggunakan AAS dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi ion Co(II) dalam larutan. Kurva standar didasarkan pada hukum *Lambert-Beer* dengan persamaan garis linier $y = ax + b$, dengan y adalah nilai absorbansi, x adalah konsentrasi, b adalah intersept, dan a merupakan slope yang menunjukkan kesensitivitasan. Persamaan *Lambert-Beer* dengan koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara konsentrasi dan absorbansi (Sugito, 2021). Dalam penelitian ini hasil uji linieritas R^2 bernilai 0,9991. Nilai koefisien korelasi ini telah memenuhi syarat SNI ISO/IEC tahun 2008 dimana nilai koefisien korelasi dapat diterima apabila $R^2 \geq 0,995$. Kurva standar dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva standar

4.4.2 Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi karena pH optimum dapat mempengaruhi gugus-gugus fungsional adsorben yang berperan aktif dalam proses adsorpsi ion Co(II). Adapun variasi pH yang digunakan yaitu 4, 5, 6, 7, dan 8. Pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs dapat dilihat pada Gambar 4.6. Kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs meningkat seiring dengan meningkatnya pH dan mencapai optimum pada pH 7. Hal ini disebabkan karena dalam suasana sangat asam terjadi kompetisi antara ion H^+ dengan ion Co(II) sehingga mengakibatkan berkurangnya daya tarik antara adsorben dengan ion Co(II) dan beberapa gugus fungsi akan terprotonasi. Penurunan % Co(II) teradsorpsi pada pH 8 kemungkinan disebabkan karena terjadinya penjenuhan dan pembentukan hidroksida $Co(OH)_2$ (Lee, dkk., 2020) atau terjadinya desorpsi ion Co(II) akibat perubahan kondisi pH basa lemah. Reaksi protonasi dapat dilihat pada persamaan (4.1) (Luo, dkk., 2018) dan terbentuknya hidroksida dapat dilihat pada persamaan (4.2) (Kowalski, 2001).



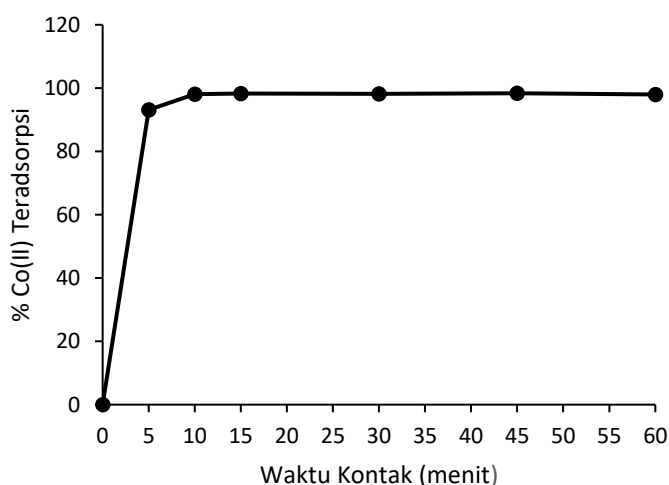
Gambar 4.6 Grafik pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs

Turan, dkk. (2019) melaporkan bahwa pH optimum adsorpsi Co(II) pada *ion imprinted* berbasis karbon aktif adalah pH 7. Kang, dkk. (2016) melaporkan bahwa pH 7 merupakan pH optimum adsorpsi Co(II) pada kobalt *ion-imprinted polymers* menggunakan 1-vinylimidazole sebagai monomer. Yan, dkk. (2011) melaporkan bahwa pH optimum adsorpsi Co(II) pada *ion imprinted polymers* gel silika adalah pH 7.

4.4.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu kontak yang baik agar polimer mampu mengadsorpsi Co(II) secara maksimal. Kemampuan

adsorpsi Co(II)-IPs meningkat secara bertahap dan mencapai kondisi optimum pada waktu kontak 10 menit. Nilai % Co(II) teradsorpsi pada Co(II)-IPs cenderung konstan atau sudah tidak efisien lagi mengadsorpsi ion Co(II) pada waktu kontak di atas 10 menit. Hal ini disebabkan karena Co(II)-IPs telah jenuh dengan ion Co(II) (Yusof, dkk., 2019). Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs ditampilkan pada Gambar 4.7. Yuan, dkk. (2018) melaporkan bahwa adsorpsi ion Co(II) pada *ion-imprinted polymers* modifikasi *Metal-organic framework* (MOFs) mencapai kondisi optimum pada waktu 10 menit. Khoddami dan shemirani (2016) melaporkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi Co(II) pada *ion-imprinted polymers* sol-gel adalah 10 menit. Zhao, dkk. (2022) melaporkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi ion Co(II) pada *ion-imprinted polymers* berbasis nanopartikel adalah 20 menit.

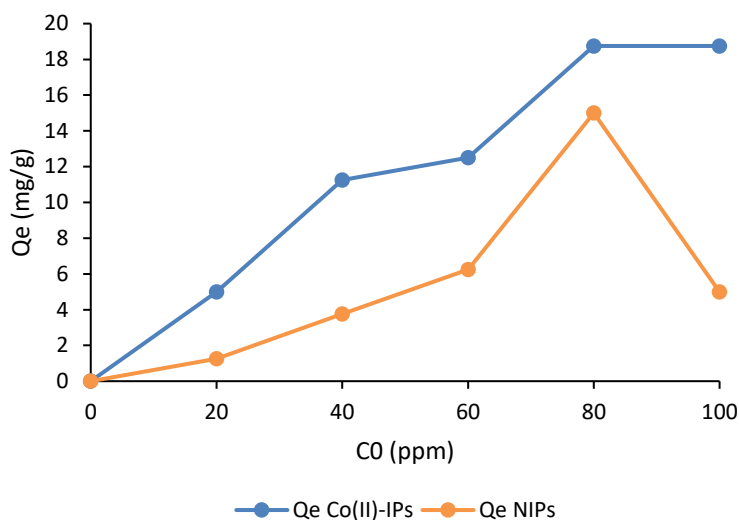


Gambar 4.7 Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi Co(II)-IPs

4.5 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum ion logam yang teradsorpsi per unit massa polimer (Kartika & Amran, 2021). Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan cara mengontakkan ion Co(II) pada Co(II)-IPs dengan rentang konsentrasi 20-100 ppm menggunakan metode *batch* pada pH 7 dengan waktu kontak 10 menit. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs lebih tinggi dari NIPs. Hal ini sesuai dengan hasil analisis SEM yang menunjukkan bahwa Co(II)-IPs memiliki mikropori yang dapat mengikat ion Co(II). Kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs adalah 18 mg/g. Jumlah ion Co(II) yang teradsorpsi oleh Co(II)-IPs mengalami peningkatan hingga konsentrasi 80 ppm. Pada konsentrasi di atas 80 ppm, kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs cenderung konstan karena Co(II)-IPs telah jenuh dengan ion Co(II). Tabel 4.3 menunjukkan bahwa Co(II)-IPs memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa adsorben lain dalam berbagai literatur. Co(II)-

IPs efektif digunakan untuk adsorpsi ion Co(II) karena memiliki kapasitas adsorpsi dan selektivitas yang baik dalam waktu yang relatif singkat (10 menit). Co(II)-IPs dapat dijadikan sebagai kandidat yang baik dan potensial diterapkan untuk adsorpsi ion Co(II) pada sampel lingkungan.



Gambar 4.8 Grafik kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs dan NIPs

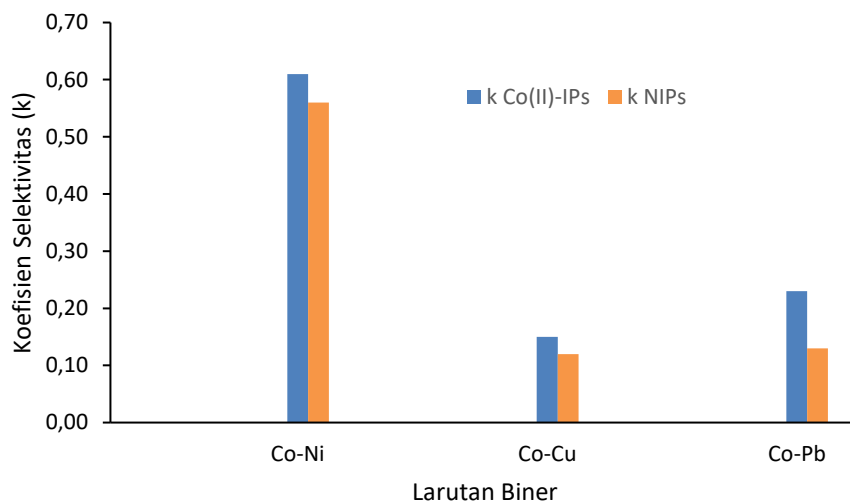
Tabel 4.3 Kapasitas adsorpsi ion Co(II) oleh berbagai adsorben

No	Jenis adsorben	Kapasitas adsorpsi	Literatur
1	Co(II) zeolit	10,39 mg/g	Jin, dkk (2015)
2	Co(II) <i>carbonaceous</i>	15 mg/g	Namin (2016)
3	Co(II) karbon aktif	5,8 mg/g	Conte, dkk (2023)
4	Co(II) kitosan	2 mg/g	Zhuang, dkk (2017)
5	Co(II)-IPs (monomer MAA dan 4-VP, crosslinker EGDMA)	15,38 mg/g	Yusof, dkk (2019)
6	Co(II)-IPs	18 mg/g	Penelitian ini

4.6 Selektivitas Adsorpsi

Selektivitas adsorpsi mempelajari kemampuan polimer secara spesifik untuk mengadsorpsi ion kobalt dibandingkan dengan ion logam lain dalam campuran (Lazar, dkk., 2023). Penentuan selektivitas adsorpsi dilakukan menggunakan metode *batch* pada pH 7 dengan waktu kontak 10 menit. Selektivitas adsorpsi dari Co(II)-IPs dan NIPs ditunjukkan pada Tabel 4.4. Ion-ion logam Ni(II), Cu(II), dan Pb(II) dipilih sebagai ion logam kompetitif karena jari-jari ioniknya yang mirip dan muatannya yang sama dengan ion Co(II) (Biswas, dkk., 2019). Nilai koefisien selektivitas (k) Co(II)-IPs lebih besar daripada NIPs. Koefisien selektivitas relatif (k') Co(II)-IPs untuk Co(II)/Ni(II), Co(II)/Cu(II), dan Co(II)/Pb(II) secara berturut-turut adalah 1,08; 1,25; dan 1,77. Nilai k' lebih dari satu mengindikasikan bahwa Co(II)-IPs memiliki kemampuan selektivitas yang baik jika dibandingkan dengan NIPs. Nilai k' pada Co(II)/Ni(II) < Co(II)/Cu(II) < Co(II)/Pb(II). Hal ini disebabkan karena jari-jari ionik Co(II), Ni(II), Cu(II), dan

Pb(II) masing-masing adalah 0,065; 0,069; 0,073 dan 0,119 °A (He, dkk., 2017). Semakin jauh perbedaan jari-jari Co(II) dengan logam kompetitif, maka nilai k' semakin besar. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan ukuran antara logam kompetitif dengan rongga (*cavity*) pada Co(II)-IPs (Djunaidi, dkk., 2018). Grafik koefisien selektivitas Co(II)-IPs dan NIPs ditampilkan pada Gambar 4.9.



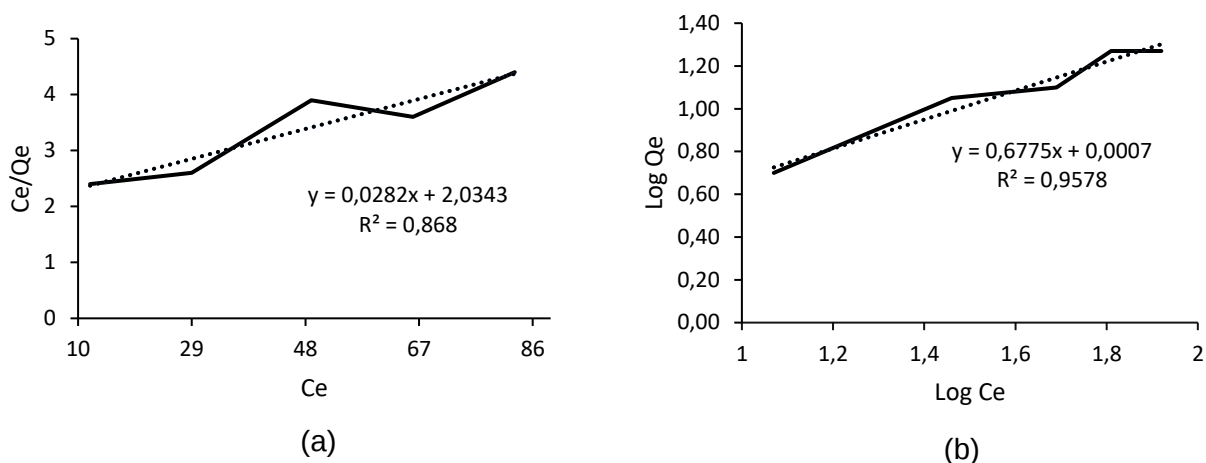
Gambar 4.9 Grafik koefisien selektivitas Co(II)-IPs dan NIPs

Tabel 4.4 Selektivitas adsorpsi

Larutan Biner	Ion Logam	NIPs		Co(II)-IPs		k'
		kd	k	kd	k	
Co-Ni	Co	0,40		1,02		
	Ni	0,70	0,56	1,68	0,61	1,08
Co-Cu	Co	0,43		1,11		
	Cu	3,55	0,12	7,26	0,15	1,25
Co-Pb	Co	0,89		3,38		
	Pb	7,00	0,13	14,7	0,23	1,77

4.7 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan antara fasa teradsorpsi pada permukaan dengan fasa ruah pada suhu dan pH tertentu. Model isoterm adsorpsi pada penelitian ini yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich. Proses adsorpsi pada model isoterm adsorpsi Langmuir terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*) di permukaan adsorben dan adsorpsi terjadi secara kimisorpsi. Proses adsorpsi pada model isoterm adsorpsi Freundlich terjadi pada permukaan yang bersifat heterogen (*multilayer*) dan adsorpsi terjadi secara fisisorpsi (Nurhidayati, dkk., 2022). Kurva model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Isoterm adsorpsi (a) Langmuir (b) Freundlich

Tabel 4.5 Parameter isoterm adsorpsi

Langmuir		Freundlich	
R^2	0,868	R^2	0,958
K_L	0,01	n	1,47
Q_m	35,46	K_f	1,0007

Nilai koefisien korelasi (R^2) merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan model isoterm adsorpsi yang sesuai. Nilai R^2 mendekati 1 mengindikasikan bahwa model isoterm adsorpsi tersebut dapat dipilih untuk menggambarkan fenomena adsorpsi yang terjadi pada adsorben (Chakraborty, dkk., 2022). Nilai R^2 yang diperoleh dari linierisasi kurva isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.5 berturut-turut sebesar 0,868 dan 0,958. Hal ini menunjukkan bahwa model isoterm adsorpsi Freundlich lebih dominan sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi ion Co(II) pada Co(II)-IPs karena nilai R^2 mendekati 1. Namun, nilai R^2 pada isoterm adsorpsi Langmuir juga mendekati 1. Hal ini mengindikasikan bahwa proses adsorpsi bisa saja terjadi secara fisika dan kimia. Adsorpsi fisika disebabkan oleh terjadinya gaya van der Waals antara adsorbat dan adsorben yang berarti bahwa ion Co(II) memiliki kecenderungan yang lebih besar teradsorpsi pada pori-pori Co(II)-IPs (Hamed, dkk., 2023). Adsorpsi kimia disebabkan karena adanya pertukaran elektron dan pembentukan ikatan kovalen koordinasi antara ion Co(II) dengan ligan 8-HQ. Hal ini disebabkan karena pada Co(II)-IPs terdapat rongga (*cavity*) yang memiliki efek memori terhadap ion Co(II). Efek memori terbentuk karena adanya kesamaan ukuran, muatan, geometri koordinasi, dan bilangan koordinasi (Ventura, dkk., 2018).

4.8 Integrasi Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan merupakan upaya atau cara dalam penanganan limbah yang mengandung logam berat di perairan yang berasal dari proses industri. Salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri adalah kobalt yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan khususnya di perairan. Manusia diberikan kuasa oleh Allah SWT untuk memanfaatkan, mengolah, dan menjaga potensi alam semesta yang telah diciptakan-Nya. Proses sintesis Co(II)-IPs merupakan salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran limbah di perairan. Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu dengan penuh manfaat dan tidak sia-sia walaupun sesuatu tersebut dalam bentuk limbah. Sebagaimana firman Allah dalam Q.S al-anbiya ayat 16:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لْعِبَيْنِ

Artinya: *“Dan tidaklah Kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada di antara keduanya dengan bermain-main”*

Q.S al-anbiya ayat 16 menegaskan kepada setiap manusia untuk senantiasa merenungkan tentang penciptaan langit dan bumi untuk mendapat bukti atas kekuasaan Allah SWT. Salah satu upaya pengamalan ayat tersebut adalah dilakukannya optimasi waktu kontak Co(II)-IPs. Optimasi waktu kontak bertujuan untuk mempelajari berapa lama polimer mampu mengadsorpsi Co(II) secara maksimal. Waktu kontak optimum Co(II)-IPs adalah 10 menit. Pada waktu di atas 10 menit Co(II)-IPs cenderung konstan atau sudah tidak efisien lagi mengadsorpsi ion Co(II). Hal ini membuktikan bahwa manusia jangan membuang waktu secara sia-sia. Sebab Allah SWT tidak menyukai orang yang membuang waktu secara sia-sia. Hal ini sesuai dengan Q.S al-asr ayat 1-2:

وَالْعَصْرِ إِنَّ الْإِنْسَانَ لَفِي خُسْرٍ

Artinya: *“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian”*

Q.S al-asr ayat 1-2 mengajarkan kepada manusia betapa pentingnya mengelola waktu. Pemanfaatan waktu sebaik mungkin akan membawa kebahagiaan bagi manusia di dunia dan akhirat. Ismail dalam Kitab At-Tarbiyah Wa Al-Adāb Asy-Syar’iyyah menjelaskan bahwa membuang-buang waktu untuk perkara yang sia-sia juga merupakan perkara yang dibenci oleh para salafusholih. Bagi mereka waktu merupakan karunia berharga yang tak boleh kosong dari amal ketaatan, sehingga tiada waktu yang terlewat sedikitpun kecuali telah terisi dengan kesibukan yang bernilai kebaikan. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap alam akan membawa manusia lebih dekat kepada tuhan-Nya. Selain itu, Allah telah menyiapkan ganjaran pahala yang besar bagi para pemakmur bumi (Mohammad, 2023).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Morfologi permukaan NIPs relatif halus sedangkan morfologi permukaan Co(II)-IPs relatif kasar dan terbentuk *aggregated*. Co(II)-IPs setelah *leaching* memiliki lebih banyak mikropori dibandingkan dengan Co(II)-IPs sebelum *leaching* dan NIPs. Hasil spektra EDS menunjukkan bahwa % massa unsur Co pada Co(II)-IPs sebelum *leaching* sebesar 0,03% dan pada Co(II)-IPs setelah *leaching* sudah tidak terdapat unsur Co. Hal ini mengindikasikan bahwa ion Co(II) dapat dilepaskan dari matriks polimer menggunakan HNO₃ 2 M. Keberhasilan sintesis Co(II)-IPs dan NIPs ditunjukkan dengan munculnya vibrasi C=O *stretching* dan vibrasi C-O *stretching* serta hilangnya vibrasi C=C terkonjugasi C=O. Hal ini mengindikasikan telah terbentuknya ikatan antara MAA dan EGDMA.
- b. Kapasitas adsorpsi Co(II)-IPs adalah 18 mg/g pada pH 7 dengan waktu kontak 10 menit. Nilai koefisien selektivitas relatif (k') Co(II)/Ni(II), Co(II)/Cu(II), dan Co(II)/Pb(II) secara berturut-turut adalah 1,08; 1,25; dan 1,77. Hal ini mengindikasikan bahwa Co(II)-IPs selektif terhadap ion Co(II) dengan keberadaan ion pengganggu. Isoterm adsorpsi ion Co(II) pada Co(II)-IPs sesuai dengan isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir yang mengindikasikan bahwa proses terjadi secara fisisorpsi dan kimisorpsi.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan variasi konsentrasi logam dan ligan selama sintesis Co(II)-IPs untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Selain itu, dapat dilakukan pemilihan jenis porogen untuk menghasilkan polimer dengan jumlah pori yang lebih banyak dan lebih efektif mengikat ion Co(II).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghouthi, M. A., & Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for The Use and Interpretation of Adsorption Isotherm Models: A review. *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 393).
- Alkis, M. E, Buldurun, K., Turan, N., Alan, Y., Yilmaz, U. K., & Mantarci, A. (2020). Synthesis, Characterization, Antiproliferative of Pyrimidine Based Ligand and Its Ni(II) and Pd(II) Complexes and Effectiveness of Electroporation, *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*.
- Amalia, S., Rafika, N. A., Hardiyanti, S. A., Ashari, A. D., Khabibi, B. W., Iftitah, E. D., Warsito, W., Hasanah, A. N., & Sabarudin, A. (2022). Cobalt (II)-Mediated Molecularly Imprinted Polymer As A Monolithic Stationary Phase for Separation of Racemic Citronellal by Liquid Chromatography. *Journal Scientific World* .
- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F., & Awaln Safitri, R. (2021). Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isoterm Adsorpsi. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 1–11.
- Anzulmi, K. (2020). Crosslinker Terhadap Pembentukan Poli Asam Humat yang digunakan Sebagai Dye pada Sel Surya DSSC. *Chemistry Journal*, 9(2).
- Ara, B., Muhammad, M., Rani, Ul Haq Zia, T., & Gul, K. (2020). Selective Removal of Copper and Cobalt from Aqueous Environment Using New Cu(II) and Co(II) Imprinted Polymer and Their Determination by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry. *Desalination and Water Treatment*, 191, 173–184.
- Ara, B., Muhammad, M., Salman, M., Ahmad, R., Islam, N., & Zia, T. ul H. (2018). Preparation of Microspheric Fe(III)-Ion Imprinted Polymer for Selective Solid Phase Extraction. *Applied Water Science*, 8(1).
- Asnawi, A., Belianti, E., Febriana, E., Nursamsiar, Rahmi, S., & Andriansyah, I. (2021). Metode Spektroskopi ATR-FTIR Tandem PCA Untuk Mendeteksi Kopi Robusta Sebagai Adulteran Dalam Sediaan Kopi Arabika Toraja Komersial. *Jurnal ilmiah ibnu sina*, 6(1).
- Asni, N., & Sianita, M. (2020). Pengaruh Jumlah Crosslinker Terhadap Persen Ekstraksi Pada Sintesis Molecularly Imprinted Polymer Sebagai Adsorben untuk Kloramfenikol The Effect of Crosslinker Amount to The Percent Extraction in Molecularly Imprinted Polymer Synthesis as an Adsorben for Chloramphenicol. *UNESA Journal of Chemistry* (Vol. 9, Issue 3).
- Azra, N., Nazir, F., Roosh, M., Khalid, M. A., Mansoor, M. A., Bahadar Khan, S., & Iqbal, M. (2022). Extraction of Pb (II) and Co (II) Using N,N-diethylsuccinamate Based Room Temperature Ionic Liquids Containing Aliphatic and Aromatic Cations. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(9).
- Bahfie, F., Harahap, E. A., Alfarisy, M. I., & Arham, L. O. (2022). Pengolahan Pasir Besi untuk Meningkatkan Kadar Titanium (Ti) dengan Metode Pemisahan Magnetik Secara Basah. *Jurnal Balitbangda*, 10(03). 2354-5704.
- Bekiaris, G., Peltre, C., Barsberg, S. T., Bruun, S., Sørensen, K. M., Engelsen, S. B., Magid, J., Hansen, M., & Jensen, L. S. (2020). Three Different Fourier-Transform Mid-Infrared Sampling Techniques to Characterize Bio-Organic Samples. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1310-1321.
- Biswas, K. T., Yusoff, M. M., Sarjadi, M. S., Arshad, S. E., Musta, B., Rahman, Md. L. (2019). Ion-Imprinted Polymers for Selective Separation of Cobalt, Cadmium, and Lead Ions from Aqueous Media, *Separation Science and Technology*.

- Buhani, Narsito, Nuryono, & Kunarti, E. S. (2011). Characteristics of Cd(II) and Cu(II) Ion Bonding in Ionik Imprinted Amino-Silica Hybrid Synthesis. *Journal Sains and Applied Chemistry*, 5(2), 122-130.
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A. K., Jain, B., Susan, A. B. H. (2020). Adsorption of Heavy Metal Ions by Various Low-Cost Adsorbents: A Review. *International Journal of Enviromental Analytical Chemistry*.
- Choudhury, T., Ferdous, J., Haque, M., Rahman, Md. M., Quraishi, S., & Rahman, M. (2022). Assessment of Heavy Metals and Radionuclides in Groundwater and Associated Human Health Risk Appraisal in The Vicinity of Rooppur Nuclear Power Plant, Bangladesh. *Journal of Contaminant Hydrology*, 251, 104072.
- Conte, N., Diez, E., Almendras, B., Gomez, J. M., & Rodriguez, A. (2023). Sustainable Recovery of Cobalt from Aqueous Solutions Using an Optimized Mesoporous Carbon. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 9(1), 266–279.
- Dehaine, Q., Tijsseling, L. T., Glass, H. J., Tormanen, T., & Butcher, A. R. (2021). Geometallurgy of Cobalt Ores: A review. *Minerals Engineering* (Vol. 160).
- Djunaidi, M. C., Haris, A., Pardoyo, & Rosdiana, K. (2018). The Impact of Templates Types on Polyeugenol to The Adsorption Selectivity of Ionic Imprinted Polymers (IIP) Fe Metal Ion. *Materials Science and Engineering*. Vol(349).
- El Ouardi, Y., Giove, A., Laatikainen, M., Branger, C., & Laatikainen, K. (2021). Benefit of Ion Imprinting Technique in Solid-Phase Extraction of Heavy Metals, Special Focus on The Last Decade. *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Issue 6).
- El-Shamy, O. A. A., El-Azabawy, R. E., & El-Azabawy, O. E. (2019). Synthesis and Characterization of Magnetite-Alginate Nanoparticles for Enhancement of Nickel and Cobalt Ion Adsorption from Wastewater. *Journal of Nanomaterials*.
- Fadlelmoula, A., Pinho, D., Carvalho, V. H., Catarino, S. O., & Minas, G. (2022). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood Over The Last 20 Years: A Review towards Lab-on-A-Chip Devices. In *Micromachines* (Vol. 13, Issue 2).
- Felix, C. S. A., Chagas, A. V. B., de Jesus, R. F., Barbosa, W. T., Barbosa, J. D. V., Ferreira, S. L. C., & Cerdà, V. (2023). Synthesis and Application of A New Polymer with Imprinted Ions for The Preconcentration of Uranium in Natural Water Samples and Determination by Digital Imaging. *Molecules*, 28(10).
- Fransiska, A., & Sianita, M. M. (2021). Pengaruh Suhu Pada Sintesis Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Terhadap Kemampuan Adsorpsi Kloramfenikol Effect of Temperature on The Synthesis of Molecularly Imprinted Polymer (MIP) on Adsorption Capability of Cloramphenicol. *UNESA Journal of Chemistry* (Vol. 10, Issue 3).
- Hamed, M. G., & Borai, E. H. (2023). Ultrasound Assistance Synthesis of Optimized Ion Imprinted Polymer for Efficient and Selectfelixive Removal of Cobalt Ions from Waste Streams. *Journal of Polymer Research*, 30(11).
- Hariyoto, F., Soegianto, A., & Hidayati, D. (2019). Accumulation of Pb, Cd and Zn in The Bullet Tuna (Auxis Rochei) Caught From Bali Strait Indonesia. *Ecology, Environment and Conservation*, 25, S6–S9.
- He, H., Gan, Q., & Feng, C. (2017). Preparation and Application of Ni(II) Ion-Imprinted Silica Gel Polymer for Selective Separation of Ni(II) from Aqueous Solution. *RSC advances*, 7(25), 15102-15111.

- Hermawan, B. A., Mutakin, & Hasanah, A. N. (2021). Role of Porogenic Solvent Type on The Performance of A Monolithic Imprinted Column. *Chemical Papers* (Vol. 75, Issue 4, pp. 1301–1311).
- Hu, S. Xiong, Xiaodong, H. S., dan L. X. (2016). Preparation of Pb(II) Ion Imprinted Polymer and Its Application As The Interface of An Electrochemical Sensor for Trace Lead Determination. *The Japan Society for Analytical Chemistry*, 32, 1–6.
- Imdad, S., & Dohare, R. K. (2022). A Critical Review on Heavy Metals Removal Using Ionic Liquid Membranes from The Industrial Wastewater. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 173, 108812.
- Indriani, S. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Tio₂-Karbon Aktif dari Jerami Padi dengan Variasi Komposisi Massa untuk Fotodegradasi Zat Warna Metil Jinnga. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Isikver, Y., & Baylav, S. (2018). Synthesis and Characterization of Metal Ion-Imprinted Polymers. *Bulletin of Materials Science*, 41(2).
- Jamoussi, B., Chakroun, R., Al-Mur, B. A., Halawani, R. F., Aloufi, F. A., Chaabani, A., & Aljohani, N. S. (2023). Design of A New Phthalocyanine-Based Ion-Imprinted Polymer for Selective Lithium Recovery from Desalination Plant Reverse Osmosis Waste. *Polymers*, 15(18).
- Jayanti, Ranti. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Material Ionic Imprinted Polymer-Silika Metil Ammonium Kuaterner (IIP-Smak) Sebagai Adsorben Ion Cr(VI). *Skripsi*. Universitas Jambi.
- Jin, Y., Wu, Y., Cao, J., & Wu, Y. (2015). Adsorption Behavior of Cr(VI), Ni(II), and Co(II) Onto Zeolite 13x. *Journal Desalination and Water Treatment*. 1(14).
- Kang, R., Qiu, L., fang, L., Yu, R., Chen, Y., Lu, X., & Luo, X. (2016). A novel Magnetic and Hydrophilic Ion-Imprinted Polymer As A Selective Sorbent for The Removal of Cobalt Ions from Industrial Wastewater. *Enviromental and Chemical Engineering*, 2213-3437.
- Kartika, S. E., & Amran, M. B. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde) untuk Adsorpsi Ion Pb(II). *Journal of Chemistry*. 9(1).
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317-344).
- Khoddami, N., & Shemirani, F. (2015). A New Magnetic Ion-Imprinted Polymer as A Highly Selective Sorbent for Determination of Cobalt in Biological and Environmental Samples. *Department of Analytical Chemistry*. 15(6).
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press: Jakarta.
- Kowalski, A. (2001). *Metals Removal to Low Levels Using Chemical Precipitants*. ONDEO Nalco Company: USA.
- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global Evaluation of Heavy Metal Content in Surface Water Bodies: A Meta-Analysis Using Heavy Metal Pollution Indices and Multivariate Statistical Analyses. *Journal Chemosphere* (Vol. 236).
- Lambert, J. B., & et, al. 1987. *Introduction To Organic Spectroscopy*. Macmillan

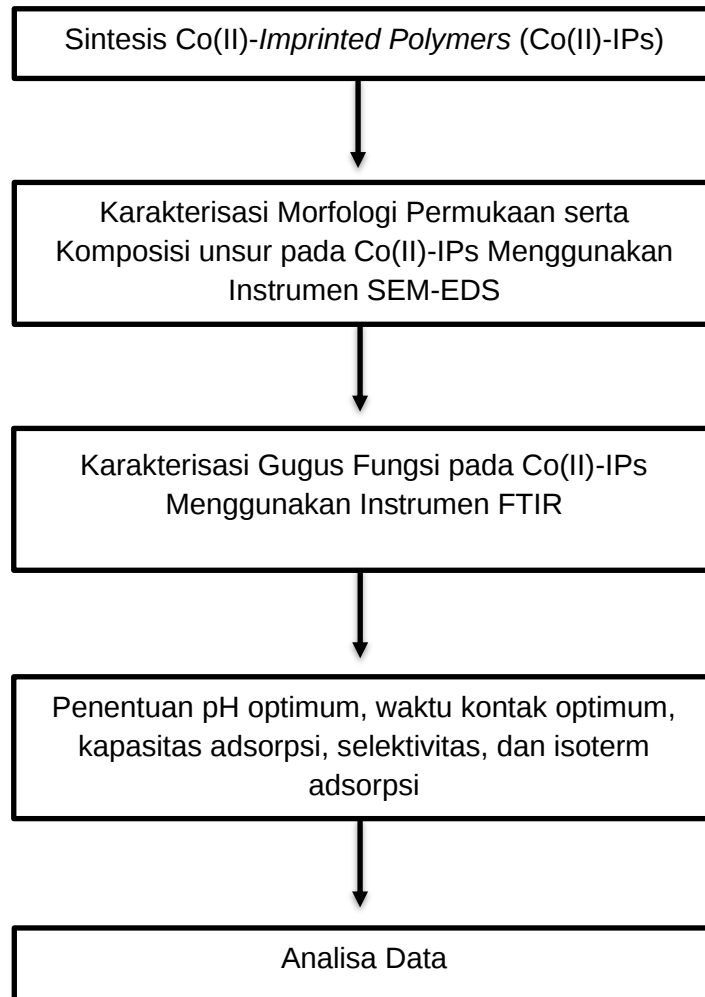
- Lazar, M. M., Ghiorghita, C. A., dragan, E. S., Humelnicu, D., & Dinu, M. V. (2023). Ion-Imprinted Polymeric Materials for Selective Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution. *Molecules* 2023, 28, 2798.
- Lebeau, J., Efromson, J. P., & Lynch, M. D. (2020). A Review of the Biotechnological Production of Methacrylic Acid. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. (Vol. 8).
- Lee, H. K., Choi, J. W., & Choi, S. J. (2020). Magnetic Ion-Imprinted Polymer Based on Mesoporous Silica for Selective Removal of Co(II) from Radioactive Wastewater. *Separation science and technology*. 10(8)
- Li, N., & Yang, H. (2021). Construction of Natural Polymeric Imprinted Materials and Their Applications in Water Treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*. (Vol. 403).
- Luo, W., Bai, Z., & Zhu, Y. (2018). Fast Removal of Co(II) from Aqueous Solution Using Porous Carboxymethyl Chitosan Beads and Its Adsorption Mechanism. *The Royal Society of Chemistry* (Vol 8).
- Maimuna, F. M., I. R. (2020). Studi Awal Pengaruh Kloroform Sebagai Pelarut pada Proses Ekstraksi Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Nano Kafein. *Journal Fisika*, 1, 1–7.
- Meila Anggriani, U., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetic Adsorption of Activated Carbon In Decreasing Concentrations of Copper (Cu) And Lead (Pb) Metals. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Mohammad. (2023). Kajian Ayat-Ayat Al-Qur'an Tentang Pelestarian Lingkungan Hidup. *Jurnal Alwatzikhoebillah*, 9(2), hal 528-540.
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2019). *Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review*. 10(6)
- Namin, P. E. (2016). Adsorption Of Copper, Cobalt, And Manganese Ions From Aqueous Solutions Using Oxidized Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Enviroment Protection Engineering*, 42(4).
- Nurhayati, Aisyah., Ummah, Z. Izzatul., & Shobron, S. (2018). Kerusakan Lingkungan Dalam Al-Qur'an. *Jurnal Suhuf*. 30(2), 1–27.
- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., Putri, F. A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Jurnal Warta Akab*. 46(1), 75-83.
- Nurventi, N. (2019). Perbandingan Metode Analisis Logam Berat Kromium dan Timbal Menggunakan Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP OES) dan Atomic Absorbtion Spectrometry (AAS). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Phan, H., Kortsen, K., Englezou, G., Couturaud, B., Nedoma, A. J., Pearce, A. K., & Taresco, V. (2020). Functional Initiators for The Ring-Opening Polymerization of Polyesters and Polycarbonates: An Overview. In *Journal of Polymer Science*. 58(14), 1911–1923.
- Putri, A. R., Rohman, A., Setyaningsih, W., & Riyanto, S. (2020). Determination of Acid, Peroxide, and Saponification Value in Patin Fish Oil by Ftir Spectroscopy Combined with Chemometrics. *Food Research*, 4(5), 1758–1766.
- Qiu, X., Wang, B., Zhao, X., Zhou, X., & Wang, R. (2024). Green and Sustainable Imprinting Technology for Removal of Heavy Metal Ions from Water Via Selective Adsorption. *Journal Sustainability (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 1).
- Quiton, K. G. N., Huang, Y. H., & Lu, M. C. (2022). Recovery of Cobalt and Copper from Single- and Co-Contaminated Simulated Electroplating Wastewater via Carbonate and Hydroxide Precipitation. *SustaiLebeaunable Environment Research*, 32(1).

- Ramadhan, M. Y. (2019). Al-Qur'an dan Kelestarian Alam (Studi Kasus Pemaknaan Al-Qur'an Surah Al-Rum ayat 41 dan Al-A'raf Ayat 56 di Pesantren Agroekologis Biharul Ulum Bogor). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah.
- Rif'ah, J. (2023). Sintesis dan karakterisasi Pb(II) *Imprinted Polymers* Sebagai Adsorben Ion logam Co(II). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Sajini, & Beena Mathew. (2021). A Brief Overview of Molecularly Imprinted Polymers: Highlighting Computational Design, Nano and Photo-Responsive Imprinting. *Journal Talanta*, Volume 4, 100072.
- Septiano, A., & Setyaningsih, N. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences* (Vol. 44, Issue 2).
- Silverstein, R. M., & Webster, F. X. (1991). *Spectrometric Identification of Organic Compounds* (E. Swain, Ed.; Sixth Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Socrates, George. (2001). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies* (Baffins Lane; Third Edition). John Wiley & Sons, LTD
- Song, Y., Kang, L., Lin, F., Sun, N., Aizezi, A., Yang, Z., & Wu, X. (2022). Estimating The Spatial Distribution of Soil Heavy Metals in Oil Mining Area Using Air Quality Data. *Atmospheric Environment*, 287, 119274.
- Sonone, S. S., Jadhav, S., Sankhla, M. S., & Kumar, R. (2021). Water Contamination by Heavy Metals and Their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health Through Food Chain. *Letters in Applied NanoBioScience* (Vol. 10, Issue 2, pp. 2148–2166).
- Sugito; Marliyana, S. D. (2021). Uji Performa Spektrofotometer Serapan Atom Thermo Ice 3000 Terhadap Logam Pb Menggunakan CRM 500 dan CRM 697 di UPT Laboratorium Terpadu UNS. *Indonesian Journal Of Laboratory*, 04, 67–71.
- Thermo USA. (2001). *An Elementary Overview of Elemental Analysis*. Rev 02/01 ThermoElemental
- Tian, M., Fang, L., Yan, X., Xiao, W., & Row, K. H. (2019). Determination of Heavy Metal Ions and Organic Pollutants in Water Samples Using Ionic Liquids and Ionic Liquid-Modified Sorbents. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* (Vol. 2019).
- Turan, K., Saygili Canlidinc, R., & Kalfa, O. M. (2018). Determination of Trace Amounts of Co(II) After Preconcentration with Surface Ion Imprinted Sorbent Based on Activated Carbon. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(5), 707–716.
- Vasapollo, G., Sole, R. Del, Mergola, L., Lazzoi, M. R., Scardino, A., Scorrano, S., & Mele, G. (2011). Molecularly Imprinted Polymers: Present and Future Prospective. *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 12, Issue 9, pp. 5908–5945).
- Ventura, S., Bhamidi, S., & Hornbostel, M. (2018). Selective Recovery of Lithium from Brines. *Journal Proceedings*. 12(14).
- Waheed, K., Azra, N., Iqbal, M., & Mehmood, T. (2021). Diglycolamide Based Mono and Di-Ionic Liquids Having Imidazolium Cation for Effective Extraction and Separation of Pb(II) and Co(II). *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 66(7), 1040–1046.
- Wirawan, T., Supriyanto, G., & Soegianto, A. (2018). Adsorption of Zinc(II) onto Zn(II)-Ionic Imprinted Polymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(2).

- Yan, L., Zhanchao, L., Jiangdong, D., Jie, G., Jimin, X., & Yongsheng, Y. (2011). Selective Adsorption of Co(II) by Mesoporous Silica SBA-15-Supported Surface Ion Imprinted Polymer: Kinetics, Isotherms, and Thermodynamics Studies. *Chemical Engineering Journal*, 29, 387-398.
- Yuan, G., Tu, H., Liu, J., Zhao, C., Liao, J., Yang, Y., Yang, J., & Liu, N. (2018). A Novel Ion-Imprinted Polymer Induced by The Glycylglycine Modified Metal-Organic Framework for The Selective Removal of Co(II) from Aqueous Solutions. *Chemical Engineering Journal*, 333, 280–288.
- Yusof, N. F., Mehamod, F. S., & Suah, F. B. M. (2019). Fabrication and Binding Characterization of Ion Imprinted Polymers for Highly Selective Co²⁺ Ions in An Aqueous Medium. *Journal of Enviromental Chemical Engineering*, 7, 2213-3437.
- Zhao, Z., Jiang, H., Wu, L., Yu, N., Luo, Z., & Geng, W. (2022). Preparation of Magnetic Surface Ion-Imprinted Polymer Based on Functionalized Fe₃O₄ for Fast and Selective Adsorption of Cobalt Ions from Water. *Water (Switzerland)*, 14(2).
- Zhuang, S., Yi, Y., & Wang, J. (2017). Removal Of Cobalt Ions From Aqueous Solution Using Chitosan Grafted With Maleic Acid By Gamma Radiation. *Nuclear Engineering and Technology*, 1-5.
- Zhuang, S., & Wang, J. (2021). Magnetic COFs As Catalyst for Fenton-Like Degradation of Sulfamethazine. *Journal Chemosphere*, 264.
- Zulfikar, M. A., Wahyuningrum, D., Mukti, R. R., & Setiyanto, H. (2016). Molecularly Imprinted Polymers (MIPs): A Functional Material for Removal of Humic Acid from Peat Water. *Journal Desalination and Water Treatment*, 57(32), 15164–15175.

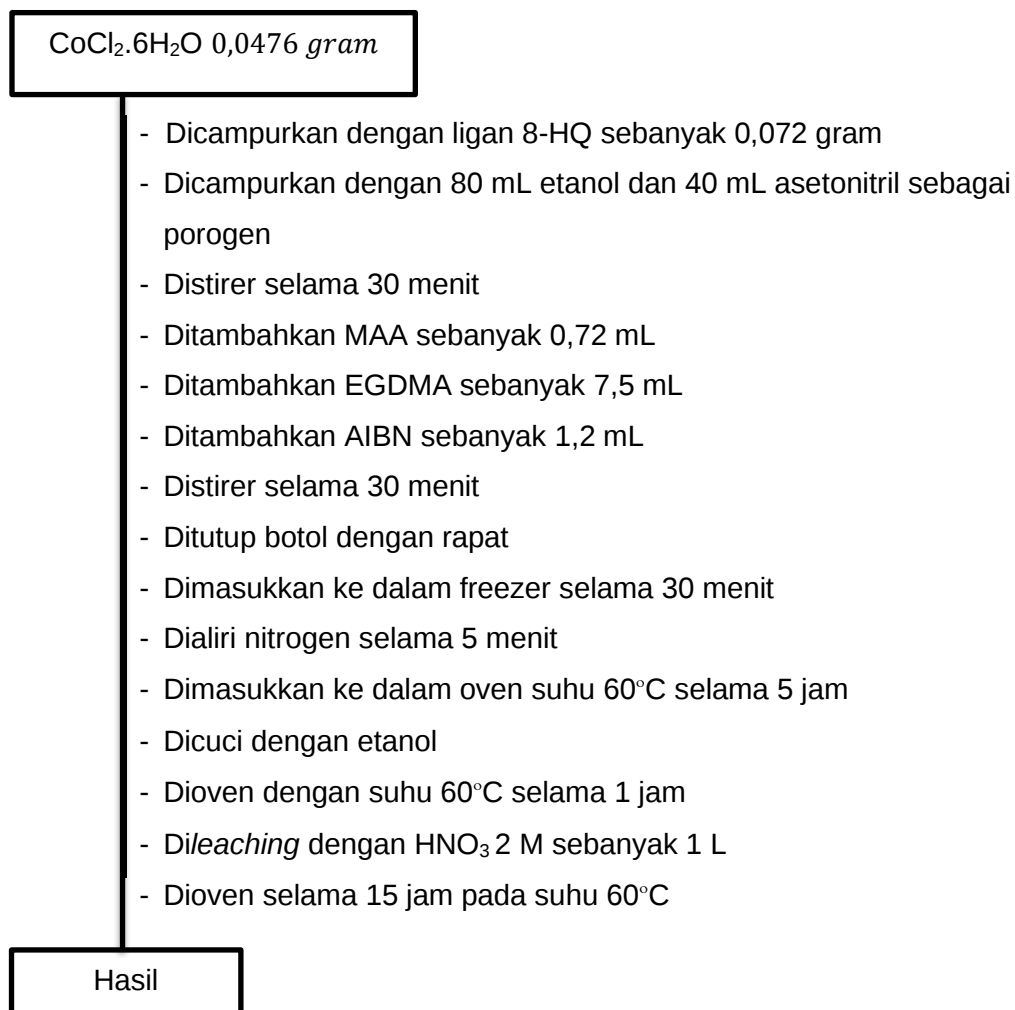
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



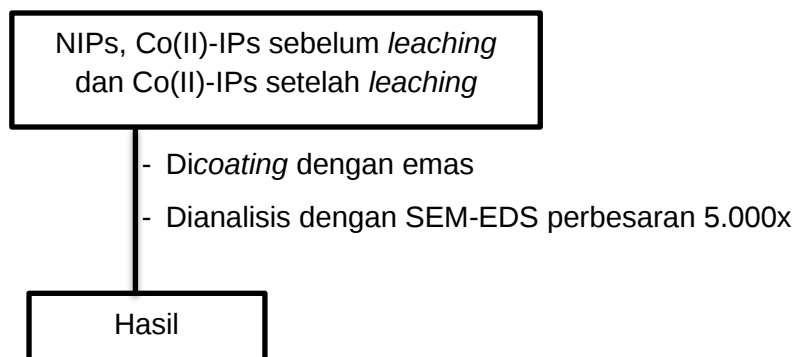
Lampiran 2. Diagram Alir

L.2.1 Sintesis Co(II)-*Imprinted Polymers*

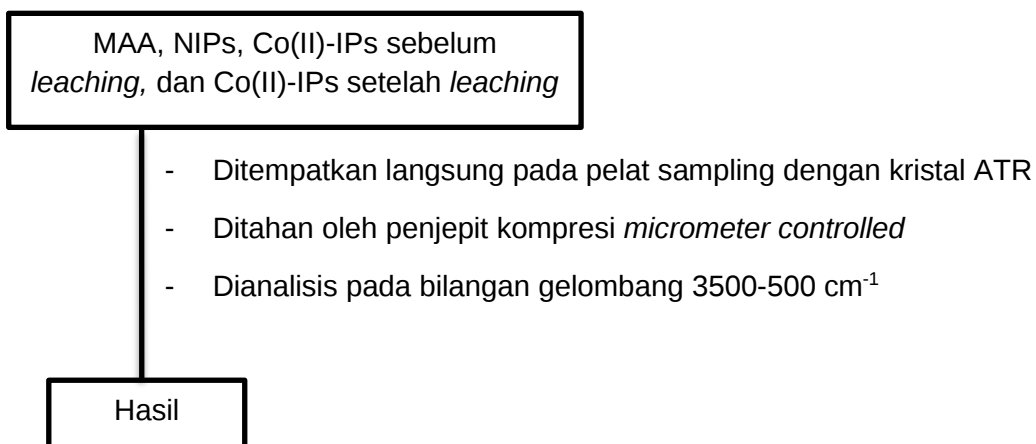


***Sintesis NIPs dilakukan dengan cara yang sama tanpa penambahan *template* Co (II) dan 8-HQ**

L.2.2 Karakterisasi Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur yang Terkandung dalam Polimer menggunakan SEM-EDS

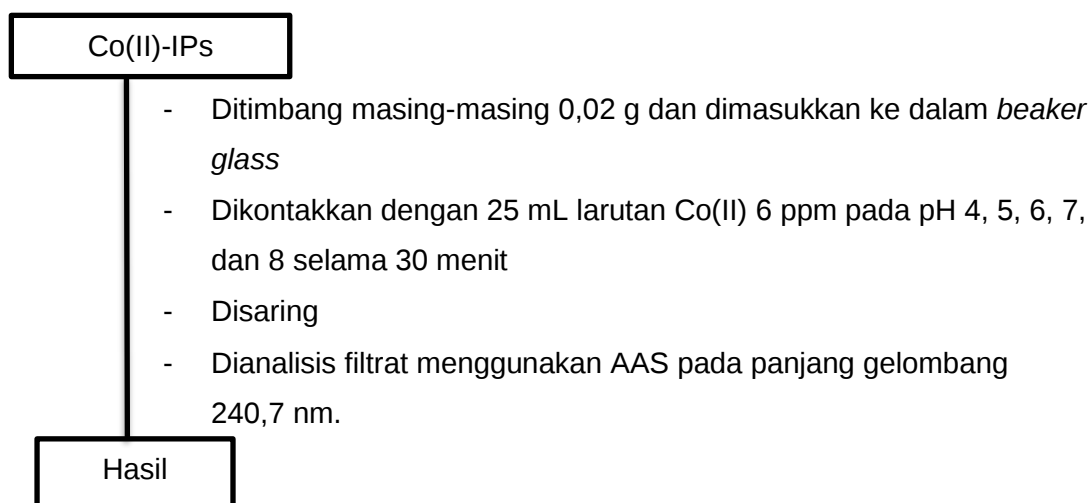


L.2.3 Karakterisasi Gugus Fungsi menggunakan FTIR

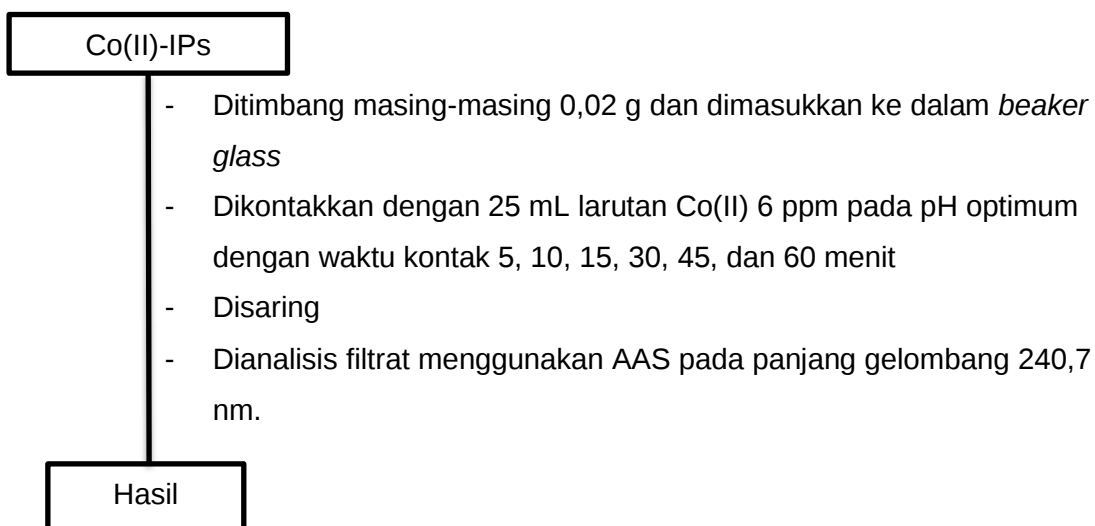


L.2.4 Optimasi Co(II)-Imprinted Polymers

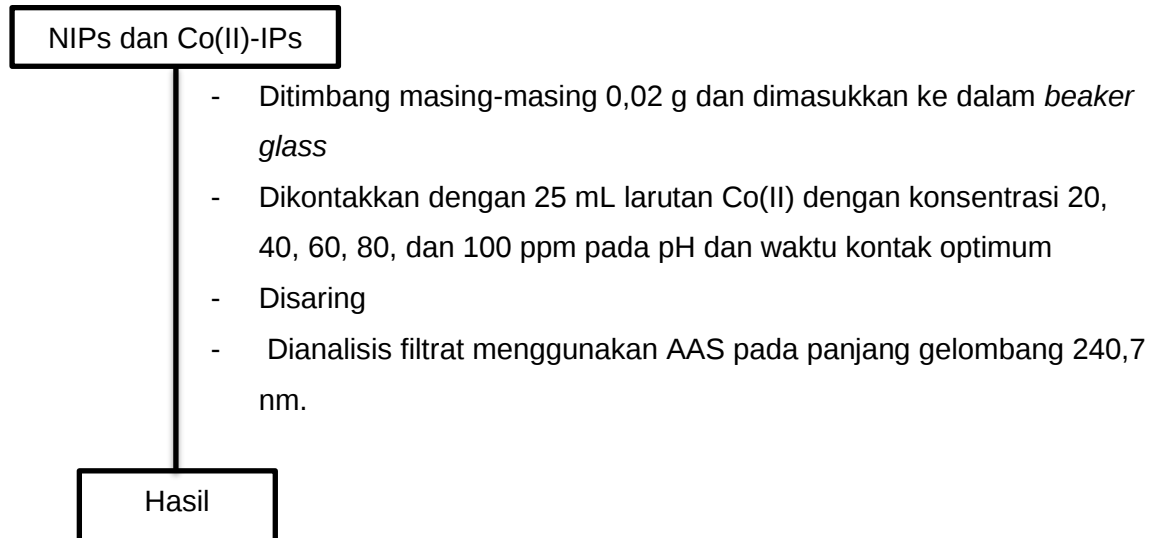
L.2.4.1 Penentuan pH Optimum



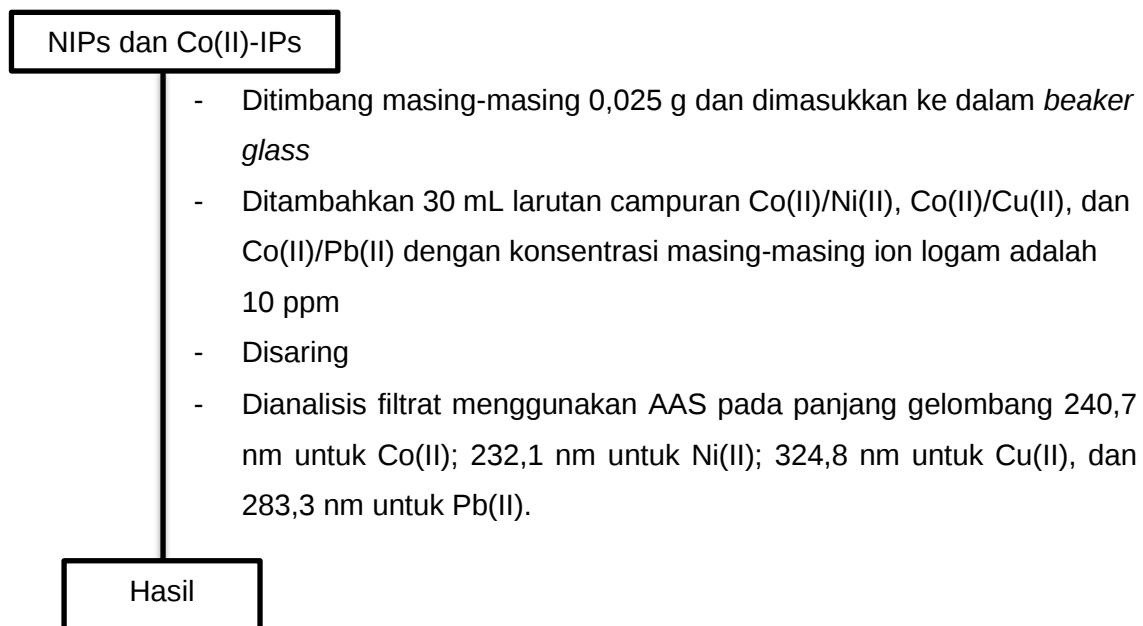
L.2.4.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum



L.2.5 Penentuan Kapasitas Adsorpsi



L.2.6 Penentuan Selektivitas Adsorpsi



Lampiran 3. Perhitungan

1. Pembuatan $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,2 mmol

Berat molekul = 238 g/mol

$$m = \text{mol} \times Mr$$

$$m = 0,2 \text{ mmol} \times 238 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 47,6 \text{ mg} = 0,0476 \text{ g}$$

2. Pembuatan 8-Hidroksikuinolin 0,5 mmol

Berat molekul = 145,16 g/mol

$$m = \text{mol} \times Mr$$

$$m = 0,5 \text{ mmol} \times 145,16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,072 \text{ g}$$

3. Pembuatan asam metakrilat 8,5 mmol

Berat molekul = 86,08 g/mol

$$m = \text{mol} \times Mr$$

$$m = 8,5 \text{ mmol} \times 86,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 731,68 \text{ mg} = 0,731 \text{ gram}$$

$$v = \frac{g}{p}$$

$$v = \frac{0,731 \text{ g}}{1,015 \text{ g/cm}^3} = 0,72 \text{ mL}$$

4. Pembuatan EGDMA 40 mmol

Berat molekul = 198,218 g/mol

$$m = \text{mol} \times Mr$$

$$m = 40 \text{ mmol} \times 198,218 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 7,928 \text{ g}$$

$$v = \frac{g}{p}$$

$$v = \frac{7,928 \text{ g}}{1,0559 \text{ g/cm}^3} = 7,5 \text{ mL}$$

5. Pembuatan AIBN 8 mmol

Berat molekul = 164,21 g/mol

$$m = \text{mol} \times Mr$$

$$m = 8 \text{ mmol} \times 164,21 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,313 \text{ g}$$

$$v = \frac{g}{p}$$

$$v = \frac{1,313 \text{ g}}{1,1 \text{ g/cm}^3} = 1,2 \text{ mL}$$

6. Pembuatan HNO_3 2 M

$$M = \frac{(10 \times \% \times \text{berat jenis})}{\text{BM}}$$

$$M = \frac{\left(10 \times 65\% \times 1,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{63,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$= 15,473$$

- HNO_3 2 M 1000 mL

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$15,473 \text{ M} \times V_1 = 2 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 129,2 \text{ mL}$$

7. Perhitungan membuat larutan standar Co 1000 ppm, volume 100 mL

Pembuatan larutan standar 1000 ppm dari $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$$\text{Mr } \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 238 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Co} = 59$$

$$\frac{\text{Mr}}{\text{Ar}} \times 100 \text{ mg}$$

$$\frac{238 \text{ g/mol}}{59 \text{ g/mol}} \times 100 \text{ mg} = 0,4033 \text{ g}$$

➤ Penjelasan pembuatan larutan

Pembuatan larutan standar Co 1000 ppm dari senyawa $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilakukan dengan menimbang 0,4033 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dimasukkan dalam beaker glass dan dilarutkan dengan aquades secukupnya kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan pelarut hingga tanda batas.

8. Pembuatan larutan standar Pb 1000 ppm, volume 50 mL

Pembuatan larutan standar 1000 ppm dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

$$\text{Mr } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 331 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Pb} = 207 \text{ g/mol}$$

$$\frac{\text{Mr}}{\text{Ar}} \times 50 \text{ mg}$$

$$\frac{331 \text{ g/mol}}{207 \text{ g/mol}} \times 50 \text{ mg} = 0,079 \text{ g}$$

9. Pembuatan larutan standar Cu 1000 ppm, volume 50 mL

Pembuatan larutan standar 1000 ppm dari $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

$$\text{Mr } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 188 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Cu} = 64 \text{ g/mol}$$

$$\frac{Mr}{Ar} \times 50 \text{ mg}$$

$$\frac{188 \text{ g/mol}}{64 \text{ g/mol}} \times 50 \text{ mg} = 0,147 \text{ g}$$

10. Pembuatan larutan standar Ni 1000 ppm, volume 50 mL

Pembuatan larutan standar 1000 ppm dari $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$Mr \text{ NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 237,70 \text{ g/mol}$

$Ar \text{ Ni} = 58,693 \text{ g/mol}$

$$\frac{Mr}{Ar} \times 50 \text{ mg}$$

$$\frac{237,70 \text{ g/mol}}{58,693 \text{ g/mol}} \times 50 \text{ mg} = 0,2024 \text{ g}$$

11. Pembuatan larutan Co(II) 6 ppm, volume 25 mL

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{25 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 1,5 \text{ mL}$$

12. Perhitungan larutan standar

- Larutan 2 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{50 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0,1 \text{ mL}$$

- Larutan 4 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{50 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0,2 \text{ mL}$$

- Larutan 6 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{50 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0,3 \text{ mL}$$

- Larutan 8 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{50 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0,4 \text{ mL}$$

- Larutan 10 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{50 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0,5 \text{ mL}$$

- Penjelasan cara pengenceran

Pembuatan larutan standar 2 ppm; 4 ppm; 6 ppm; 8 ppm; dan 10 ppm dilakukan dengan cara memipet larutan Co(II) 1000 ppm sebanyak 0,1 mL; 0,2 mL; 0,3 mL; 0,4 mL; dan 0,5 mL lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL kemudian tambah aquades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

13. Perhitungan penentuan kapasitas adsorpsi

- Larutan 20 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 2 \text{ mL}$$

- Larutan 40 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \times 40 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 4 \text{ mL}$$

- Larutan 60 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \times 60 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 6 \text{ mL}$$

- Larutan 80 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \times 80 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 8 \text{ mL}$$

- Larutan 100 ppm

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

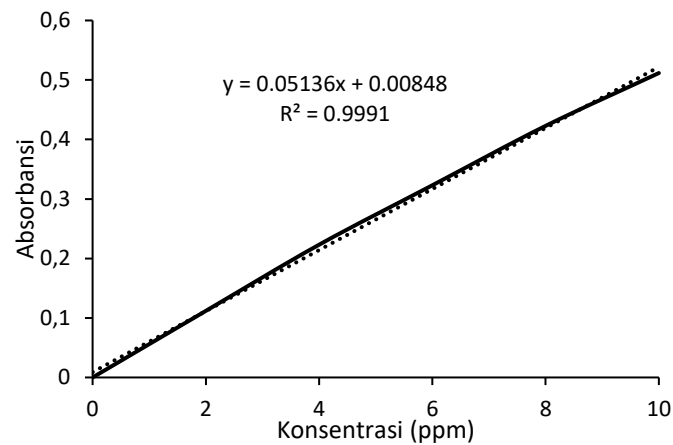
$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 10 \text{ mL}$$

14. Penentuan pH optimum

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,1119
4	0,2231
6	0,3230
8	0,4228
10	0,5116



No.	pH	Absorbansi Co(II)-IPs		Konsentrasi Co(II)-IPs (ppm)		% Co(II) teradsorpsi
		Ce	Co	Ce	Co	
1	4	0,1763	0,3466	3,27	6,58	50
2	5	0,1080	0,3205	1,94	6,08	68
3	6	0,0344	0,3229	0,50	6,12	92
4	7	0,0137	0,3189	0,10	6,04	98
5	8	0,0182	0,3261	0,18	6,18	97

Contoh perhitungan :

pH 5

$$y = a x + b$$

$$0,108 = 0,05136x + 0,00848$$

$$0,108 - 0,00848 = 0,05136x$$

$$x = \frac{0,09952}{0,05136}$$

$$x = 1,94$$

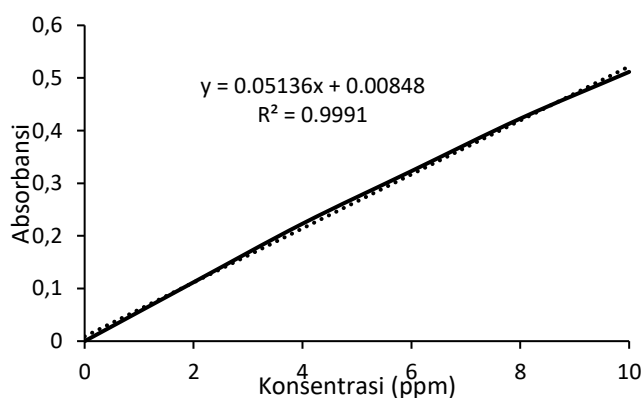
Perhitungan %Co(II) Teradsorpsi

$$\%Co(II) \text{ Teradsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

$$\%Co(II) \text{ Teradsorpsi} = \frac{6,08 - 1,94}{6,08} \times 100\% = 68\%$$

15. Penentuan waktu kontak optimum

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,1119
4	0,2231
6	0,3230
8	0,4228
10	0,5116



No	Waktu Kontak	Absorbansi Co(II)-IPs		Konsentrasi Co(II)-IPs (ppm)		%Co(II) teradsorpsi
		Ce	Co	Ce	Co	
1	5	0,0300	0,3230	0,42	6,12	93
2	10	0,0145	0,3230	0,12	6,12	98
3	15	0,0141	0,3230	0,10	6,12	98
4	30	0,0142	0,3230	0,11	6,12	98
5	45	0,0139	0,3230	0,10	6,12	98
6	60	0,0147	0,3230	0,12	6,12	98

Contoh perhitungan :

Waktu kontak 5 menit

$$y = a x + b$$

$$0,0300 = 0,05136x + 0,00848$$

$$0,0300 - 0,00848 = 0,05136x$$

$$x = \frac{0,02152}{0,05136}$$

$$x = 0,42$$

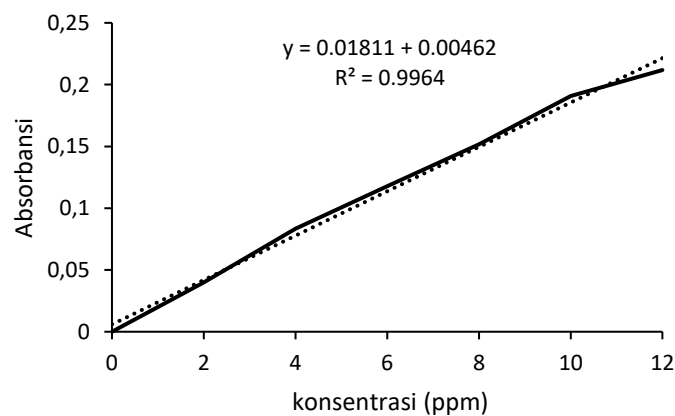
Perhitungan %Co(II) teradsorpsi

$$\%Co(II) \text{ Teradsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

$$\%Co(II) \text{ Teradsorpsi} = \frac{6,12 - 0,42}{6,12} \times 100\% = 93\%$$

16. Kapasitas adsorpsi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,0400
4	0,0833
6	0,1179
8	0,1517
10	0,1909
12	0,2118



Konsentrasi (ppm)	C0 (ppm)	Absorbansi		Ce (ppm)		m (g)	V (L)	Qe (mg/g)	
		Co(II)-IPs	NIPs	Co(II)-IPs	NIPs			Co(II)-IPs	NIPs
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	16	0,0275	0,0335	12	15	0,02	0,025	5	1,25
40	38	0,0585	0,0696	29	35	0,02	0,025	11,25	3,75
60	59	0,0938	0,1027	49	54	0,02	0,025	12,50	6,25
80	81	0,1242	0,1302	66	69	0,02	0,025	18,75	15
100	98	0,1564	0,1752	83	94	0,02	0,025	18,75	5

Contoh perhitungan

Konsentrasi 60 ppm

$$y = a x + b$$

$$0,0938 = 0,01811x + 0,00462$$

$$0,0938 - 0,00462 = 0,01811x$$

$$x = \frac{0,08918}{0,01811}$$

$$x = 4,92$$

x dikalikan faktor pengenceran 10x

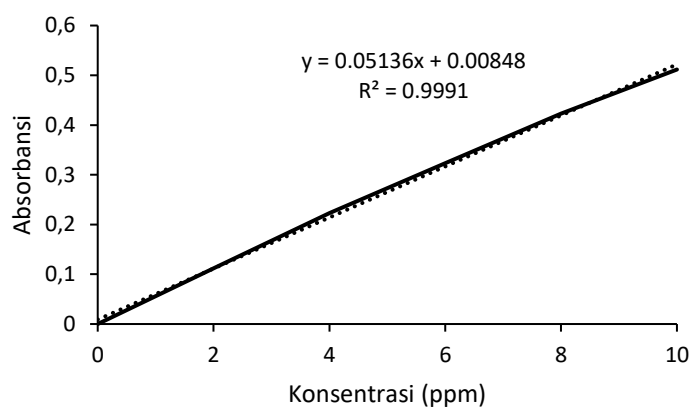
$$x = 49 \text{ ppm}$$

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times v$$

$$Q_e = \frac{59 - 49}{0,02} \times 0,025 = 12,50 \text{ mg/g}$$

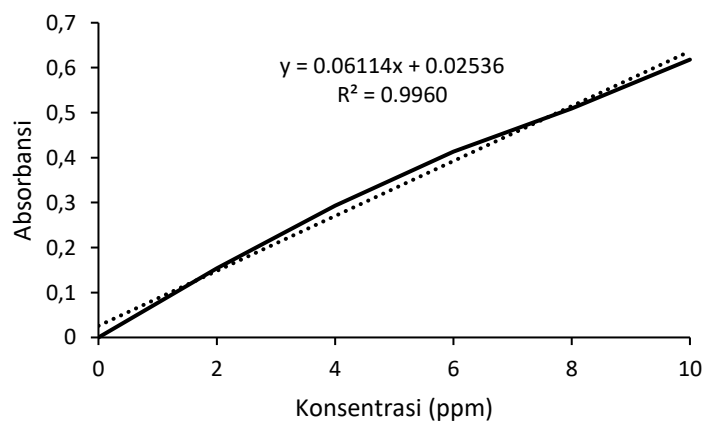
17. Selektivitas adsorpsi
Kurva kalibrasi Co(II)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,1119
4	0,2231
6	0,3230
8	0,4228
10	0,5116



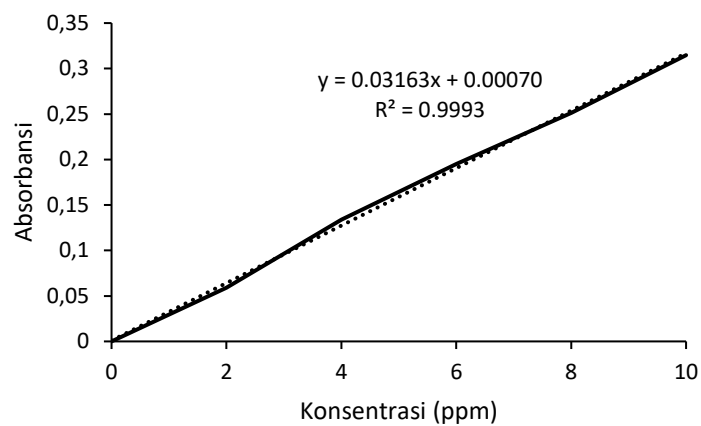
Kurva kalibrasi Ni(II)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,1539
4	0,2933
6	0,4131
8	0,5090
10	0,6180



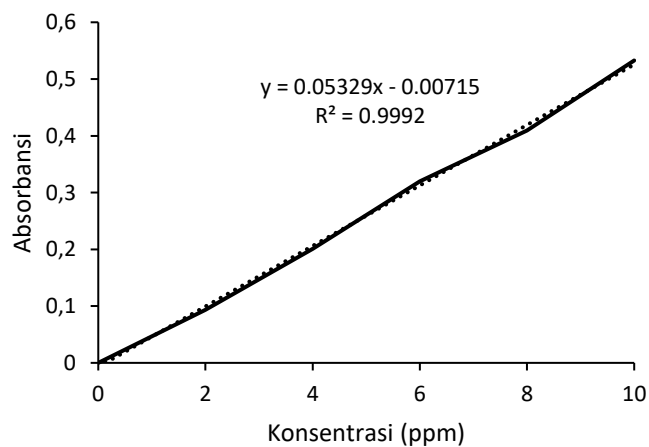
Kurva kalibrasi Pb(II)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,0589
4	0,1339
6	0,1949
8	0,2511
10	0,3147



Kurva kalibrasi Cu(II)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,0933
4	0,2010
6	0,3197
8	0,4091
10	0,5327



Larutan Biner	ion Logam	C0 (ppm)	Ce NIPs (ppm)	Ce Co(II)-IPs (ppm)	m (g)	V (L)	Qe	
							NIPs (mg/g)	Co(II)-IPs (mg/g)
Co-Ni	Co	7,32	5,50	3,95	0,025	0,03	2,18	4,04
	Ni	5,59	3,53	2,33	0,025	0,03	2,47	3,91
Co-Cu	Co	7,90	5,80	4,11	0,025	0,03	2,52	4,55
	Cu	4,16	1,05	0,59	0,025	0,03	3,73	4,28
Co-Pb	Co	7,60	4,37	1,99	0,025	0,03	3,88	6,73
	Pb	4,51	0,66	0,34	0,025	0,03	4,62	5,00

Contoh perhitungan nilai Qe Co(II)-IPs Co-Pb

$$Qe = \frac{C_0 - C_e}{m} \times v$$

Co

$$Qe = \frac{7,60 - 1,99}{0,025} \times 0,03 = 6,73 \text{ mg/g}$$

Pb

$$Qe = \frac{4,51 - 0,34}{0,025} \times 0,03 = 5,00 \text{ mg/g}$$

Larutan Biner	ion Logam	NIPs				Co(II)-IPs				k'
		Qe	Ce	kd	k	Qe	Ce	kd	k	
Co-Ni	Co	2,18	5,50	0,40	0,56	4,04	3,95	1,02	0,61	1,08
	Ni	2,47	3,53	0,70		3,91	2,33	1,68		
Co-Cu	Co	2,52	5,80	0,43	0,12	4,55	4,11	1,11	0,15	1,25
	Cu	3,73	1,05	3,55		4,28	0,59	7,26		
Co-Pb	Co	3,87	4,37	0,89	0,13	6,73	1,99	3,38	0,23	1,77
	Pb	4,62	0,66	7,00		5,00	0,34	14,7		

Contoh perhitungan kd, k, dan k'

Larutan Biner Co-Pb

Kd Co(II)-IPs

Co

$$kd = \frac{Qe}{Ce}$$

$$kd = \frac{6,73}{1,99} = 3,38$$

Pb

$$kd = \frac{Qe}{Ce}$$

$$kd = \frac{5,00}{0,34} = 14,7$$

k Co(II)-IPs

$$k = \frac{kd(Co(II))}{kd(Pb(II))}$$

$$k = \frac{3,38}{14,7} = 0,23$$

k'

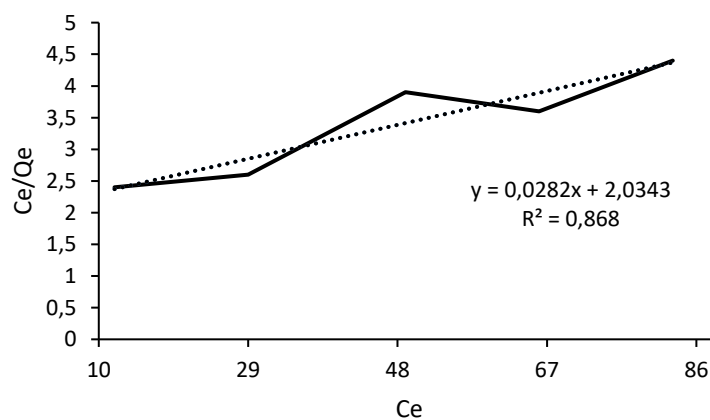
$$k' = \frac{k(Co(II) - IPs)}{k(NIPs)}$$

$$k' = \frac{0,23}{0,13} = 1,77$$

18. Isoterm adsorpsi

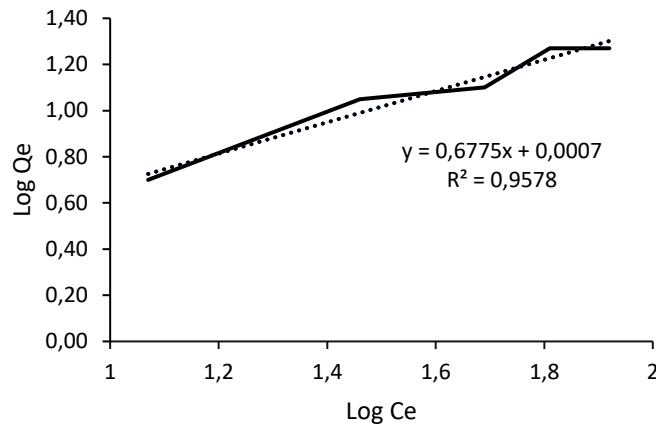
a. Isoterm adsorpsi Langmuir

No.	Konsentrasi	C0 (ppm)	Ce (ppm)	C0-Ce (ppm)	m (g)	V (L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
1	20	16	12	4	0,02	0,025	5	2,4
2	40	38	29	9	0,02	0,025	11,25	2,6
3	60	59	49	10	0,02	0,025	12,50	3,9
4	80	81	66	15	0,02	0,025	18,75	3,6
5	100	98	83	15	0,02	0,025	18,75	4,4



b. Isoterm adsorpsi Freundlich

No.	Konsentrasi	C0 (ppm)	Ce (ppm)	C0-Ce (ppm)	m (g)	V (L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
1	20	16	12	4	0,02	0,025	5	1,08	0,70
2	40	38	29	9	0,02	0,025	11,25	1,46	1,05
3	60	59	49	10	0,02	0,025	12,50	1,69	1,10
4	80	81	66	15	0,02	0,025	18,75	1,82	1,27
5	100	98	83	15	0,02	0,025	18,75	1,92	1,27



c. Parameter adsorpsi

Langmuir		Freundlich	
R^2	0,868	R^2	0,958
K_L	0,01	n	1,47
Q_m	35,46	K_f	1,0007

➤ Perhitungan Q_m

$$y = 0,0282x + 2,0343$$

$$\frac{Ce}{Qe} = \frac{1}{Q_m}x Ce + \frac{1}{K_L \cdot Q_m}$$

$$\frac{1}{Q_m} = 0,0282$$

$$Q_m = \frac{1}{0,0282} = 35,46$$

➤ Perhitungan K_L

$$\frac{1}{K_L \cdot 35,46} = 2,0343$$

$$K_L = \frac{1}{35,46 \times 2,0343}$$

$$K_L = 0,01$$

➤ Perhitungan K_f

$$y = 0,6775x + 0,0007$$

$$\text{Log } Qe = \frac{1}{n} \log Ce + \log K_f$$

$$\text{Log } K_f = 0,0007$$

$$K_f = e^{0,0007}$$

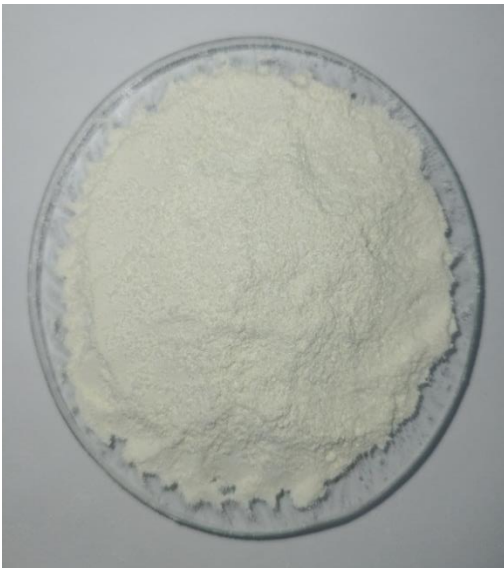
$$K_f = 1,0007$$

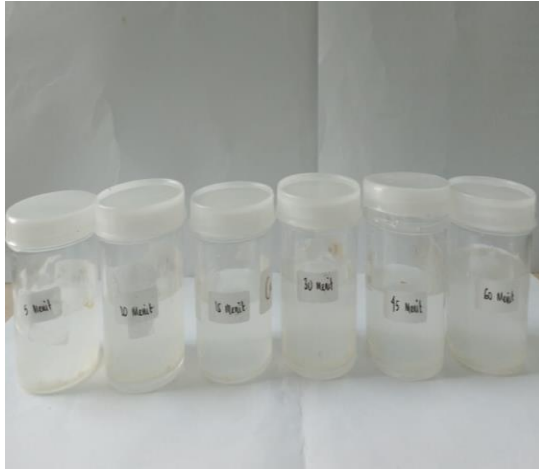
➤ Perhitungan n

$$\frac{1}{n} = 0,6775$$

$$n = \frac{1}{0,6775}$$

$$n = 1,47$$

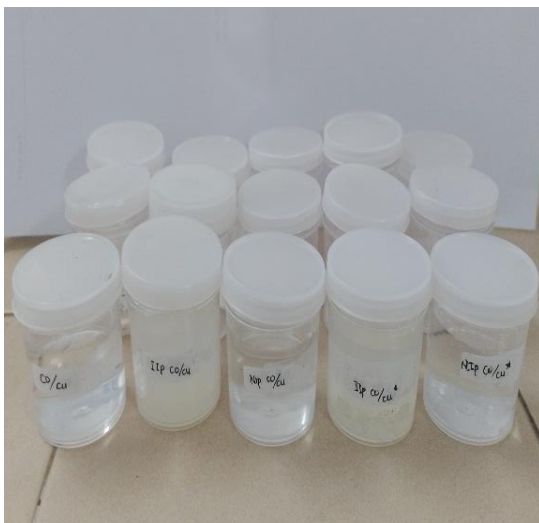
Lampiran 4. Foto Dokumentasi**Sintesis Co(II)-IPs dan NIPs****Proses *Leaching* dengan HNO₃ 2 M****Hasil Sintesis Co(II)-IPs****Optimasi pH**



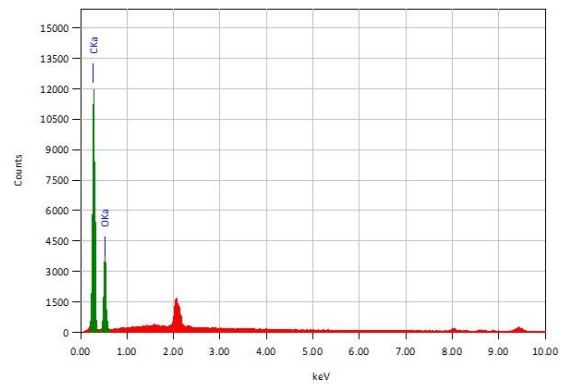
Optimasi waktu kontak



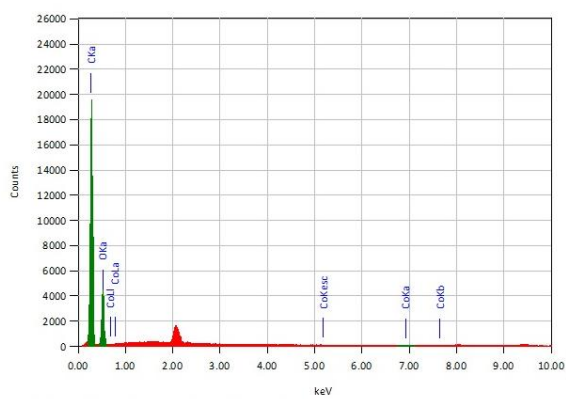
Kapasitas Adsorpsi



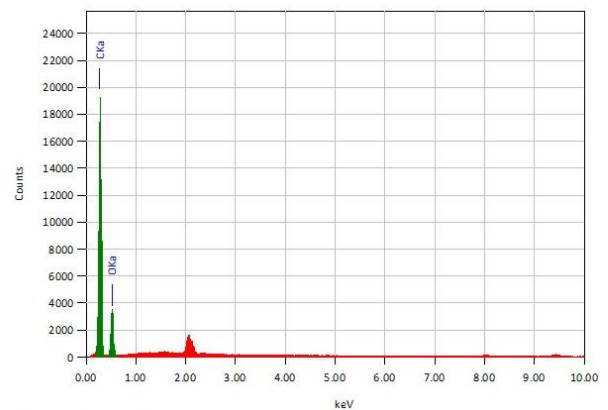
Selektivitas Adsorpsi



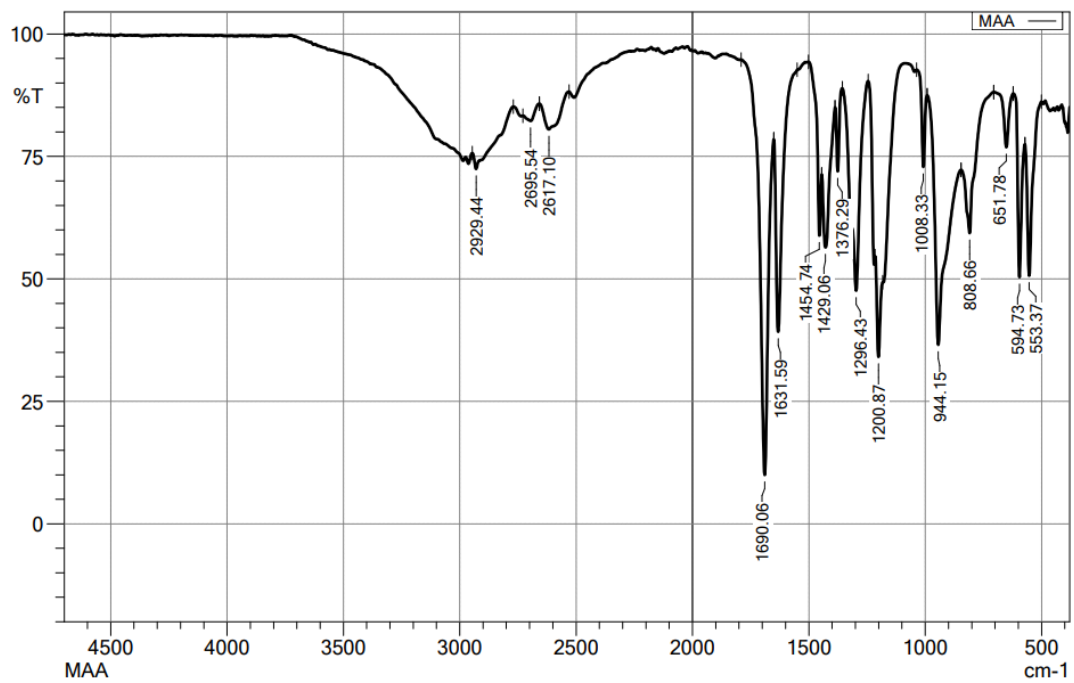
Spektra EDS NIPs



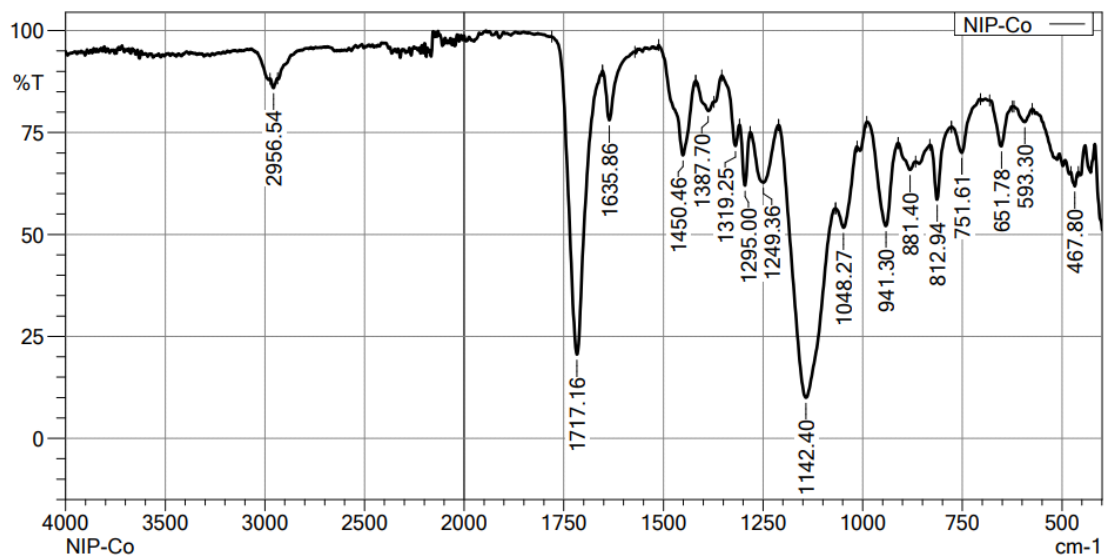
**Spektra EDS Co(II)-IPs Sebelum
Leaching**



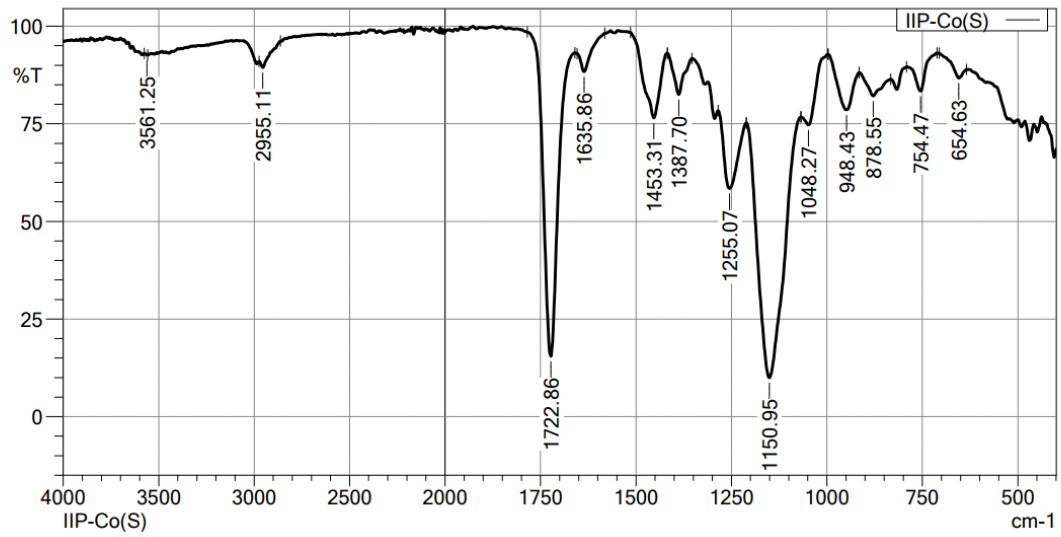
**Spektra EDS Co(II)-IPs Setelah
Leaching**



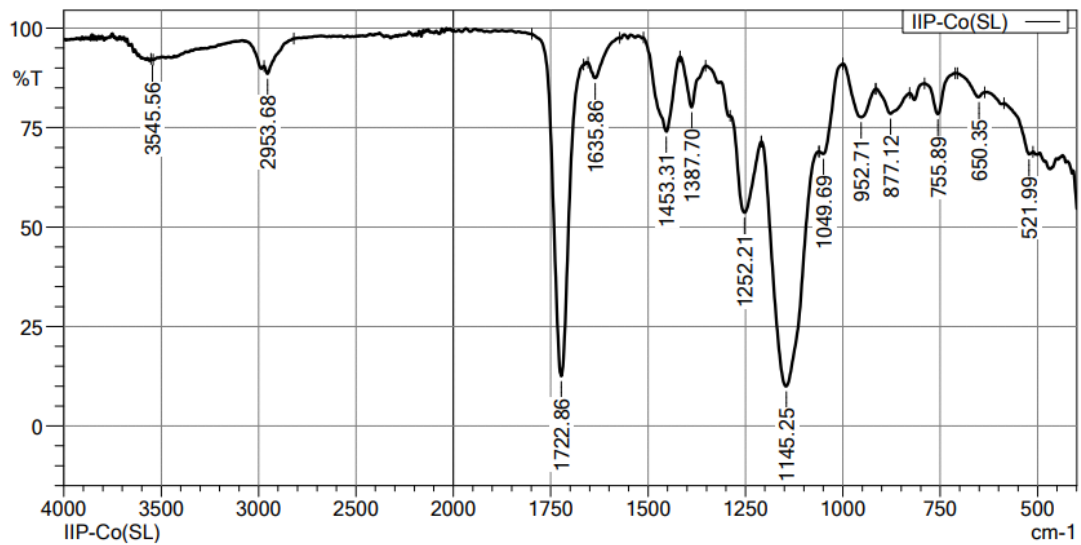
Spektra FTIR MAA



Spektra FTIR NIPs



Spektra FTIR Co(II)-IPs Sebelum *Leaching*



Spektra FTIR Co(II)-IPs Setelah *Leaching*