

**PENJERAPAN *ACID ORANGE 7* MENGGUNAKAN
GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* BATUBARA PLTU
ADIPALA CILACAP DENGAN MODIFIKASI CTAB (*Cetyl
Trimethyl Ammonium Bromide*)**

Skripsi

**Diajukan untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh
Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia**



Oleh:

Esa Miftahul Izar

2108036038

**Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
Semarang
2025**

**PENJERAPAN *ACID ORANGE 7* MENGGUNAKAN
GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* BATUBARA PLTU
ADIPALA CILACAP DENGAN MODIFIKASI CTAB (*Cetyl
Trimethyl Ammonium Bromide*)**

Skripsi

**Diajukan untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh
Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia**

Oleh:

Esa Miftahul Izar

2108036038

**Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
Semarang
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Esa Miftahul Izar
NIM : 2108036038
Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PENJERAPAN *ACID ORANGE 7* MENGGUNAKAN GEOPOLIMER
BERBASIS *FLY ASH* BATUBARA PLTU ADIPALA CILACAP
DENGAN MODIFIKASI CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium
Bromide*)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 24 Juni 2025

Pembuat pernyataan,



Esa Miftahul Izar
NIM : 2108036038

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Penjerapan *Acid Orange 7* Menggunakan Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Batubara PLTU Adipala Cilacap dengan Modifikasi CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*)**

Penulis : Esa Miftahul Izar

NIM : 2108036038

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqasyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu kimia

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Kholidah, M.Sc

NIP : 198508112019032008

Sekretaris Sidang

Ana Mardiyah, M.Si

NIP : 198905252019032019

Penguji I

Mulyatun, M.Si

NIP : 198305042011012008

Penguji II

Deni Ebit Nugroho, S.Si., M.Pd

NIP : 198507202019031007

Pembimbing

Kholidah, M.Sc

NIP : 198508112019032008

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Penjerapan *Acid Orange 7* Menggunakan Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Batubara PLTU Adipala Cilacap dengan Modifikasi CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*)**

Nama : Esa Miftahul Izar

NIM : 2108036038

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing,



Kholidah, M.Sc

NIP : 198508112019032008

ABSTRAK

Acid orange 7 memiliki sifat toksistas yang tinggi. Pengolahan limbah *acid orange 7* dapat dilakukan dengan menggunakan metode adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi *acid orange 7* menggunakan adsorben geopolimer termodifikasi CTAB berbahan dasar *fly ash* batubara. Hasil karakterisasi geopolimer menggunakan FTIR mengindikasikan adanya gugus Si-O-Al pada bilangan gelombang $977,49\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan telah terbentuknya geopolimer, dan untuk geopolimer termodifikasi pada bilangan gelombang $2923,30\text{ cm}^{-1}$ hingga $2859,45\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi peregangan simetris dan asimetris dari $-\text{CH}_2$, serta pada bilangan gelombang $1382,67\text{ cm}^{-1}$ hingga $1348,88\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya peregangan C-N. Karakterisasi menggunakan zeta potensial menunjukan nilai muatan permukaan pada geopolimer sebesar $-29,26\text{mV}$, sedangkan pada geopolimer termodifikasi CTAB 3%, 4%, dan 5% menunjukan nilai muatan permukaan pada geopolimer sebesar $-30,9\text{mV}$, $-36,8\text{mV}$, $-32,7\text{mV}$. Karakterisasi menggunakan SAA menunjukan luas permukaan Geo sebesar $5,003\text{ m}^2/\text{g}$ dan Geo-C4 sebesar $3,678\text{ m}^2/\text{g}$. Geopolimer mengadsorpsi *acid orange 7* sebesar 50 ppm secara optimum pada modifikasi CTAB 4% pada pH 6 dalam waktu 60 menit dengan kapasitas adsorpsi $5,333\text{ mg/g}$ dimana mengikuti kinetika reaksi pseudo orde dua.

Kata Kunci: *Fly ash, Geopolimer, Geopolimer termodifikasi CTAB, Acid orange 7*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarrokaturuh

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tanpa suatu halangan apapun. Shalawat serta salam tetap tucurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, serta pengikutnya.

Rasa syukur penulis ucapkan sekali lagi kepada Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan kepada penulis dengan menyelesaikan skripsi dengan judul "Penjerapan *Acid Orange 7* Menggunakan Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Batubara PLTU Adipala Cilacap dengan Modifikasi CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*)". Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains ilmu kimia di UIN Walisongo Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan, serta doa. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Nizar, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam
Negri Walisongo Semarang

2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Mulyatun, M.Si selaku Ketua Prodi Kimia.
4. Dr. Ervin Tri Suryandari, S.Si, M.Si selaku wali dosen yang sudah membimbing, mengarahkan, dan mengayomi penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Kholidah, M.Sc selaku dosen pembimbing yang sudah membimbing, memberikan masukan, kritik, saran, serta motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Segenap Ustadz, Ustadzah, dan Staff Ma'had Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya, membimbing, serta mengajarkan penulis bagaimana menjadi manusia yang bermanfaat dan berakhlak baik.
8. Kedua orang tua tersayang dan tercinta, Bapak Tohari dan Ibu Parilah yang setiap hari mendoakan penulis, memberikan dukungan, semangat, motivasi, cinta kasih, serta memberikan segalanya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.

9. Adik tersayang penulis, Fa'iqoh Amila Izar dan Muhammad Al-Mu'izar yang selalu memberikan semangat dan selalu hadir dalam kehidupan penulis.
10. Teman-teman kelas Kimia B 2021, teman-teman KKN, teman-teman Semaci dan teman-teman seperjuangan yang senantiasa memberikan semangat satu sama lain.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan susunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bagi penulis dan Mahasiswa Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang khususnya bagi rekan-rekan pembaca umumnya serta bermanfaat untuk kepentingan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Wassalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarrokatuh

Semarang, 24 Juni 2025

Penulis



Esa Miftahul Izar

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN.....	iv
NOTA DINAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
A. Rumusan Masalah	10
B. Tujuan Penelitian.....	11
C. Manfaat Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Landasan Teori.....	13
1. <i>Fly Ash</i>	13
2. Hidrogen Peroksida	14
3. <i>Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide</i> (CTAB)	15
4. <i>Acid Orange 7</i>	17
5. Geopolimer	18
6. Adsorben	20
7. Adsorpsi.....	21

8. Kinetika Reaksi	24
B. Karakterisasi.....	26
1. FTIR.....	26
2. XRD	29
3. Zeta Potensial	33
4. XRF.....	35
5. SAA.....	37
6. Spektrofotometri UV-Vis	44
C. Penelitian yang Relevan.....	45
D. Hipotesis.....	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	49
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	49
B. Alat dan Bahan.....	49
1. Alat.....	49
2. Bahan	50
C. Prosedur Kerja.....	50
1. Sintesis Geopolimer	50
2. Modifikasi Geopolimer	51
3. Uji Awal.....	52
4. Optimasi Kondisi.....	52
5. Penentuan Model Kinetika Reaksi.....	53
BAB IV PEMBAHASAN	55
A. Karakterisasi <i>Fly Ash</i>	55
B. Sintesis Geopolimer	57

C. Modifikasi Geopolimer	63
D. Pengaplikasian Geopolimer.....	69
1. Uji Awal.....	69
2. Penentuan pH Optimum	71
3. Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	73
E. Kinetika Reaksi.....	75
BAB V PENUTUP.....	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran	80
Daftar Pustaka	81
Lampiran.....	99
RIWAYAT HIDUP	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	(a) <i>Fly Ash</i> BTG I (b) <i>Fly Ash</i> BTG II	13
Gambar 2. 2	<i>Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide</i> (CTAB).....	16
Gambar 2. 3	Struktur <i>Acid Orange 7</i>	17
Gambar 2. 4	Rantai Si-O-Al.....	18
Gambar 2. 5	Geopolimer	19
Gambar 2. 6	Rangkaian alat FTIR	26
Gambar 2. 7	Spektrum FTIR <i>Fly Ash</i> dan Geopolimer	27
Gambar 2. 8	Spektrum FTIR Geopolimer Termodifikasi CTAB 2%, 3%, dan 4%	28
Gambar 2. 9	Rangkaian Alat <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	30
Gambar 2. 10	Difraktogram XRD <i>Fly Ash</i> dan Geopolimer	31
Gambar 2. 11	Difraktogram XRD Modifikasi Geopolimer dengan CTAB 2%, 3%, dan 4%	32
Gambar 2. 12	Rangkaian Alat Zeta Potensial.....	34
Gambar 2. 13	Rangkaian Alat XRF	36
Gambar 2. 14	Klasifikasi Isoterm Adsorpsi	38
Gambar 2. 15	Rangkaian Alat SAA.....	42
Gambar 2. 16	Rangkaian Alat Spektrofotometri UV-Vis....	44
Gambar 4. 1	<i>Fly Ash</i> Batubara	57
Gambar 4. 2	Geopolimer	60
Gambar 4. 3	Difraktogram Geopolimer	61
Gambar 4. 4	Spektrum FTIR Geopolimer	62
Gambar 4. 5	Lapisan Ganda Zeta Potensial.....	65
Gambar 4. 6	Spektrum FTIR CTAB, Geo-C3, Geo-C4, Geo-C5	66
Gambar 4. 7	Isoterm Adsorpsi-Desorpsi N ₂ Geo dan Geo-C4	68
Gambar 4. 8	Hasil Adsorpsi Uji Awal	70
Gambar 4. 9	Pengaruh pH pada Kapasitas Adsorpsi	72

Gambar 4. 10 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	73
Gambar 4. 11 Persamaan Kinetika Reaksi Pseudo Orde Satu.....	75
Gambar 4. 12 Persamaan Kinetika Reaksi Pseodu Orde Dua	76

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kandungan Unsur <i>Fly Ash</i> Batubara PLTU Adipala.....	56
Tabel 4. 2 Kandungan Oksida <i>Fly Ash</i> Batubara PLTU Adipala.....	56
Tabel 4. 3 Nilai Zeta Potensial Geopolimer dan Geopolimer Termodifikasi	63
Tabel 4. 4 Hasil analisis SAA BET	67
Tabel 4. 5 Hasil Adsorpsi Uji Awal.....	69
Tabel 4. 6 Pengaruh pH pada Kapasitas Adsorpsi.....	72
Tabel 4. 7 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	74
Tabel 4. 8 Model Kinetika Adsorpsi.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jawa Tengah terdiri dari 29 kabupaten yang salah satunya adalah Kabupaten Cilacap. Cilacap berada di jalur pantai selatan dan berbatasan langsung dengan Jawa Barat. Cilacap merupakan salah satu wilayah yang memberikan kontribusi terbesar kedua dalam PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) Provinsi Jawa Tengah. Hal ini disebabkan karena Cilacap memiliki beberapa sektor perekonomian diantaranya sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan; pertambangan dan penggalan; industri pengolahan; pengadaan listrik dan gas; pengadaan air, pengolahan sampah, limbah dan daur ulang; dan konstruksi (Raharjo et al., 2023).

Salah satu sektor yang paling dominan di Cilacap adalah sektor pengadaan listrik dan gas (Raharjo et al., 2023). Sektor pengadaan listrik dan gas Kabupaten Cilacap salah satunya bergantung pada PLTU. Terdapat dua PLTU di Cilacap yaitu PLTU Cilacap 1 yang terletak di Karangandri dan PLTU Cilacap 2 terletak di Adipala. Keberadaan

PLTU ini selain menimbulkan polusi udara juga dapat menimbulkan limbah padat yaitu berupa *fly ash* hasil dari pembakaran batubara. *Fly ash* yang dihasilkan sekitar 23.090,360 ton per tiga bulan (Setyawan et al., 2022).

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan terhadap limbah PLTU adalah dengan memanfaatkan limbah *fly ash* batubara. *Fly ash* batubara mengandung oksida dalam bentuk SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Menurut Purbasari (2023) kandungan oksida utama dalam *fly ash* batubara terdiri dari SiO_2 32,4%, Al_2O_3 16,4%, Fe_2O_3 23,8%, CaO 19,3%, MgO 2,6%, K_2O 1,8%. Adanya alumunium dan silika pada *fly ash* batubara memungkinkan dilakukannya sintesis menjadi sebuah material geopolimer sehingga memiliki kemiripan dengan struktur zeolit atau biasa disebut dengan *zeolite like material* (ZLM), di mana struktur zeolit yang berpori dapat dimanfaatkan sebagai adsorben (Gobel et al., 2018). Oleh karena itu, adanya kesamaan dengan zeolit maka *fly ash* batubara dapat dijadikan sebagai adsorben dengan sintesis geopolimer.

Geopolimer merupakan senyawa aluminosilikat amorf (Udaibah, 2020), dimana terdiri dari rangkaian tetrahedral antara SiO_4 dan AlO_4 . Proses pembentukan geopolimer disebut geopolimerisasi yang terdiri dari pelarutan, pembentukan gel, dan kondensasi (Tan et al., 2020). Geopolimer juga dapat disebut dengan polisialat (Singhal et al., 2017). Struktur tiga dimensi yang dimiliki geopolimer dapat mengakibatkan porositas yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Xu et al., 2022).

Aktivator yang biasa digunakan pada sintesis geopolimer adalah Na_2SiO_3 dan NaOH . Hal ini dikarenakan aktivator tersebut dapat bertindak sebagai pengaktif unsur Al dan Si pada *fly ash*, di mana akan membentuk ikatan geopolimer yang kuat (Hertianisya & Prasetya, 2023). Selain itu Na_2SiO_3 dapat mempercepat terjadinya polimerisasi pada pembentukan geopolimer (Ekaputri & Triwulan, 2011).

Pengaplikasian *fly ash* dengan sintesis geopolimer dapat digunakan sebagai adsorben. Seperti pada penelitian Mužek *et al.* (2014) di mana dalam penelitian tersebut menggunakan *fly*

ash sebagai adsorben geopolimer untuk menyerap ion tembaga pada suatu perairan. Kebanyakan penggunaan geopolimer adalah sebagai material bangunan (Salain et al., 2020).

Adsorben geopolimer berbasis *fly ash* memiliki ukuran pori 9,792 nm (Açışlı et al., 2022). Ukuran pori tersebut lebih kecil daripada ukuran pori geopolimer yang telah dimodifikasi. Sehingga dibutuhkan agen penambah pori untuk meningkatkan ukuran pori geopolimer agar geopolimer semakin efektif dalam adsorpsi. Berdasarkan penelitian Tan *et al.* (2020) pada sintesis geopolimer ditambahkan H_2O_2 sebagai agen penambah pori. Selain menggunakan H_2O_2 pada penelitian Ibrahim *et al.* (2023) juga menggunakan Tween 80 sebagai surfaktan yang berfungsi untuk membentuk rongga pori-pori sehingga dapat menambah pori (Klima et al., 2022). Penelitian Sarazin *et al.* (2021) selain menggunakan H_2O_2 juga menggunakan serbuk Al sebagai agen penambah pori. Penggunaan H_2O_2 memiliki keunggulan dibandingkan agen penambah pori lainnya. Hal ini dikarenakan H_2O_2 dapat melepaskan O_2 secara perlahan sehingga

menyebabkan gelembung yang terdistribusi lebih merata yang mengakibatkan melebarnya permukaan pori-pori (Sarazin et al., 2021). Terbentuknya pori-pori yang disebabkan penambahan H_2O_2 juga karena terjebakanya O_2 di dalam matriks geopolimer (Syukur & Kusumawati, 2015).

Peningkatan efektivitas penyerapan pada zat warna anionik menggunakan geopolimer memerlukan modifikasi lebih lanjut. Hal ini dikarenakan permukaan geopolimer memiliki muatan negatif sehingga penyerapan terhadap zat warna anionik kurang maksimal (Açışlı et al., 2022). Muatan negatif pada geopolimer berasal dari Al yang terbentuk dari rangkaian tetrahedral antara SiO_4 dan AlO_4 .

Surfaktan yang dapat digunakan untuk modifikasi geopolimer diantaranya *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide* (CTAB), *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS), *Pluronic F127*, dan *Cetyl Trimethyl Ammonium Chloride* (CTAC). CTAB memiliki sifat kationik, dimana sifat kationik ini dapat menarik zat warna anionik (Purbasari et al., 2023). Hal ini dapat meningkatkan efisiensi penyerapan terhadap

zat warna anionik (Açışlı et al., 2022). Selain itu, CTAB terdiri dari bagian hidrofobik dan hidrofilik (Syuhada, 2023). Hal ini menjadi keuntungan CTAB sebagai surfaktan kationik, di mana dapat menyediakan lebih banyak area permukaan untuk mengikat zat warna anionik sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyerapan. Ikatan yang terbentuk antara CTAB dan geopolimer adalah ikatan antara ion N^+ dengan ion Al^- pada permukaan geopolimer.

Selain Kabupaten Cilacap, di Jawa Tengah terdapat Kabupaten Semarang. Kabupaten Semarang memiliki beberapa sektor unggulan di antaranya sektor industri pengolahan, sektor pengadaan listrik dan gas, sektor pengadaan air, pengolahan sampah, serta limbah dan daur ulang (Raharjo et al., 2023). Sektor industri pengolahan di antaranya industri tekstil. Batik Semarang merupakan salah satu industri tekstil yang berada di Semarang.

Pencemaran akibat dari pewarnaan pada industri tekstil dapat mengganggu ekosistem perairan. Pewarna yang biasanya digunakan pada industri tekstil terutama pada pembuatan batik

adalah pewarna azo. Pewarna azo merupakan senyawa aromatik yang memiliki gugus nitrogen (Zafar et al., 2022). Pewarna azo larut dalam air, dan memiliki tingkat toksisitas yang tinggi. Selain itu pewarna azo dapat menyebabkan kanker (Zafar et al., 2022). Salah satu pewarna azo yang digunakan pada industri tekstil adalah *acid orange 7*. Selain bersifat *toxic* dan dapat menimbulkan kanker, pencemaran *acid orange 7* juga dapat menimbulkan bau tidak sedap. Hal ini dikarenakan gugus nitrogen pada *acid orange 7* dapat meningkatkan kadar nitrogen menjadi nitrat dalam perairan (Kurniawan et al., 2013). Menurut data *safety data sheet acid orange 7*, tingkat toksisitas terhadap ikan *Danio rerio* (zebrafish) dapat menyebabkan kematian pada konsentrasi 50% pada waktu empat hari. Selain itu, toksisitas *acid orange 7* terhadap *Daphnia magna* (water flea) menunjukkan pada konsentrasi 57,26 mg/L dapat menyebabkan efek subletal seperti penurunan aktivitas atau gangguan perilaku pada waktu dua hari. Sehingga diperlukan adanya penyerapan terhadap pencemaran *acid orange 7*.

Pada penelitian Purbasari *et al.* (2023), *fly ash* batubara digunakan sebagai adsorben geopolimer untuk adsorpsi *methyl orange*. Komposisi alkali aktivator yang digunakan ialah NaOH 10N dan Na₂SiO₃ 35%. Penambahan H₂O₂ pada penelitian ini juga dilakukan untuk menambah luas permukaan pori-pori pada adsorben.

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti melakukan sintesis adsorben geopolimer dari *fly ash* hasil pembakaran batubara pada PLTU Adipala Cilacap. Geopolimer tersebut dimodifikasi menggunakan CTAB yang diharapkan dapat meningkatkan daya serap terhadap zat warna *acid orange 7*. Hasil sintesis geopolimer dengan modifikasi CTAB dikarakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), SAA (*Surface Area Analyzer*), dan *Zeta Potensial*. Selain itu untuk melihat efektivitas adsorpsi geopolimer termodifikasi terhadap *acid orange 7*, dilakukan pengukuran konsentrasi dengan spektrofotometer UV Vis.

Penggunaan *fly ash* batubara sebagai material untuk sintesis adsorben merupakan upaya

peneliti untuk memanfaatkan limbah *fly ash* batubara. Upaya tersebut merupakan bentuk rasa syukur kita kepada Allah SWT dimana sesungguhnya Allah SWT tidak akan menciptakan sesuatu dengan sia-sia, seperti dalam firman Allah SWT yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ قِنَّا عَذَابَ النَّارِ

Artinya : “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Maha Suci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka” (QS. Ali-Imran : 191).

Menurut tafsir Ibnu Katsir, dalam kitabnya yang berjudul *Labaabut Tafsir Min Ibni Katsir* menjelaskan bahwa pada surah Ali-Imran ayat 191 Allah menyebutkan ciri-ciri orang yang berakal. Mereka adalah orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring. Mereka tidak pernah terputus dari berzikir mengingat Allah dalam semua keadaan mereka. Lisan, hati, dan jiwa mereka semuanya selalu mengingat Allah. Allah memuji hamba-Nya

yang mukmin, bahwasanya Allah tidak sekali-kali menciptakan semuanya sia-sia, agar orang-orang yang berbuat buruk dalam perbuatannya diberikan balasan yang setimpal kepada mereka, dan orang-orang yang berbuat baik diberikan pahala yang setimpal.

Tafsir tersebut menjelaskan bahwa orang-orang yang berakal dan mukmin selalu mengingat Allah melalui cipataan-Nya dan dapat mengambil pelajaran dari apa yang ada di dalamnya, serta menyakini bahwa Allah tidak menciptakan segala sesuatu dengan sia-sia. Selain itu juga dapat mengambil manfaat dari apa yang telah diciptakan Allah. Hubungan ayat ini dengan pemanfaatan limbah *fly ash* terletak pada konsep bahwa Allah menciptakan segala sesuatu tidak dengan sia-sia.

A. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik dari adsorben geopolimer dan geopolimer termodifikasi CTAB berbasis *fly ash* batubara?

2. Bagaimana pengaruh penambahan CTAB terhadap kemampuan adsorpsi geopolimer terhadap *acid orange 7*?
3. Bagaimana kinetika reaksi adsorpsi geopolimer termodifikasi CTAB 4% terhadap *acid orange 7*?

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik dari adsorben geopolimer dan geopolimer termodifikasi CTAB berbasis *fly ash* batubara.
2. Mengetahui kemampuan dan pengaruh penambahan CTAB pada adsorpsi geopolimer terhadap *acid orange 7*.
3. Mengetahui kinetika reaksi adsorpsi geopolimer termodifikasi CTAB 4% terhadap *acid orange 7*.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menambah wawasan mengenai sintesis geopolimer berbasis *fly ash* sebagai adsorben.

2. Menghasilkan produk berupa adsorben dengan memanfaatkan limbah *fly ash* pembakaran batubara pada PLTU.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. *Fly Ash*

Fly ash atau abu terbang merupakan limbah hasil pembakaran batubara. *Fly ash* dapat disebut sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) (Asof *et al.*, 2022). Kandungan unsur yang terdapat dalam *fly ash* diantaranya Fe 71,2%, Si 16,21%, dan Al 7,67% (Utami, 2018). Menurut Salain *et al.* (2020) *fly ash* dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe F dan tipe C. *Fly ash* tipe F memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebesar 70% dan CaO kurang dari 10%. Sedangkan, *fly ash* tipe C memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebanyak 50% dan CaO lebih dari 10%. Gambar 2.1 merupakan gambar *fly ash* batubara.



Gambar 2. 1 (a) *Fly Ash* BTG I (b) *Fly Ash* BTG II

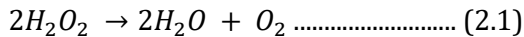
Perbedaan warna *fly ash* pada gambar 2.1 menunjukkan perbedaan banyaknya karbon yang tidak terbakar dalam *fly ash* tersebut. Pada BTG (Batubara Tertambang Guna) I akan menghasilkan warna coklat keabu-abuan hingga coklat kehitaman dan pada BTG (Batubara Tertambang Guna) II akan menghasilkan warna abu-abu hingga abu-abu gelap kehitaman. Semakin terang warna abu-abu yang dihasilkan maka semakin banyak karbon yang terbakar (Sari et al., 2023).

2. *Hidrogen Peroksida*

Hidrogen peroksida merupakan senyawa kimia dengan rumus H_2O_2 yang berbentuk cair dengan warna bening. Hidrogen peroksida merupakan oksidator kuat. Hal ini dikarenakan hidrogen peroksida dapat mengoksidasi protein, membran lipid, dan RNA maupun DNA (Pramujo, 2020).

Hidrogen peroksida merupakan senyawa yang tidak stabil. Sehingga hidrogen peroksida tidak dapat disimpan dalam waktu yang lama. Hidrogen peroksida mudah terurai

menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2), seperti pada reaksi 2.1.



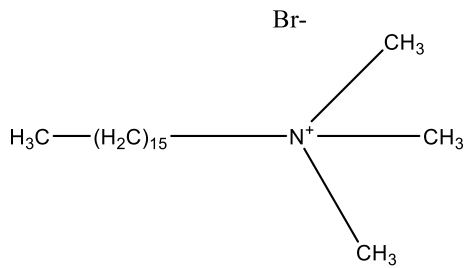
Oleh karena itu, hidrogen peroksida dapat digunakan sebagai agen penambah pori (Tan et al., 2020). Hal ini dikarenakan oksigen dilepaskan secara perlahan, sehingga menyebabkan meratanya distribusi gelembung yang mengakibatkan melebarinya permukaan pori (Sarazin et al., 2021).

3. ***Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)***

CTAB memiliki bentuk padatan yang berupa serbuk berwarna putih. Titik leleh CTAB berada pada suhu $237^\circ C - 243^\circ C$ dengan rentang pH 5 – 7. CTAB merupakan surfaktan kationik yang memiliki rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik dan gugus amonium kuarter yang bersifat hidrofilik. Gugus amonium kuarter inilah yang memiliki muatan positif, sehingga CTAB dapat berinteraksi dengan material yang memiliki permukaan bermuatan negatif.

Berdasarkan penelitian Purbasari *et al.* (2023) CTAB digunakan sebagai surfaktan

kationik pada adsorben yang disintesis menggunakan geopolimer. Sehingga dapat berfungsi sebagai pemercepat pertukaran anion. CTAB ini dapat menyerap zat warna anionik. Gambar 2.2 merupakan gambar struktur *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide* (CTAB).

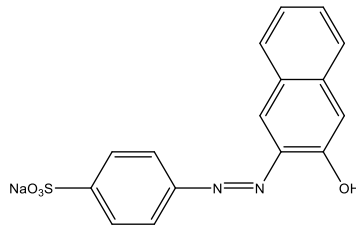


Gambar 2. 2 *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide* (CTAB)

Menurut Sriatun *et al.* (2018) CTAB dapat berfungsi sebagai agen pengarah struktur pada sintesis zeolit. Hal ini ditentukan dengan hasil uji SEM dimana sintesis zeolit menggunakan CTAB menghasilkan kristal yang lebih berpori, teratur, dan kokoh. Hal ini dikarenakan CTAB dapat digunakan sebagai agen pengarah yang dapat mempengaruhi ukuran dan homogenitas produk.

4. *Acid Orange 7*

Acid orange 7 merupakan pewarna sintetik yang termasuk pewarna azo. *Acid orange 7* merupakan zat warna yang digunakan dalam pewarnaan bahan tekstil. Pewarna ini larut dalam air, sehingga dapat menurunkan kualitas air. Selain itu *acid orange 7* memiliki tingkat toksisitas yang tinggi (Hasri et al., 2018). Struktur *acid orange 7* dapat dilihat pada gambar 2.3.



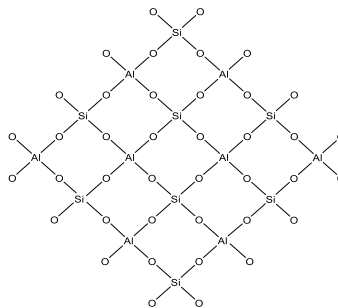
Gambar 2. 3 Struktur *Acid Orange 7*

Acid orange 7 merupakan zat warna yang termasuk dalam pewarna azo tipe naftol. Hal ini dikarenakan terdapat gugus OH pada posisi orto terhadap ikatan azo. Pewarna azo sendiri merupakan polutan organik dan tidak mudah terurai secara biologis (Sameut, Hadj, Suleiman, & Saleh, 2023).

Merujuk pada penelitian Perez-Urquza (2000) menunjukkan bahwa pKa *acid orange 7* ialah 10,62. Hal ini menunjukkan bahwa *acid orange 7* merupakan asam lemah. Pada penelitian Hajjaji *et al.* (2016) menunjukkan bahwa penyerapan terbaik *acid orange 7* oleh TiO_2 dari tanah liat adalah pada pH 3. Selain itu pada penelitian Caughlin *et al.* (2002) laju penyerapan terbaik *acid orange 7* terjadi pada pH antara 7,6 dan 8,2 dalam sistem bikarbonat.

5. Geopolimer

Geopolimer merupakan hasil sintesis material anorganik yang bersumber dari aluminosilikat dengan rantai Si-O-Al (Kusumastuti & Widiarti, 2015). Rantai Si-O-Al dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Rantai Si-O-Al

Gambar 2.4 rantai Si-O-Al yang bersumber dari aluminosilikat dapat diperoleh dari *fly ash*, metakaolin, dan slag (Siyal et al., 2019). Geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Geopolimer

Gambar 2.5 merupakan gambar geopolimer, dimana geopolimer dapat dijadikan sebagai adsorben. Selain itu, sintesis geopolimer merupakan salah satu sintesis yang ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan dalam pembuatan geopolimer menggunakan suhu rendah yaitu kurang dari 100°C (Maleki et al., 2019).

Peningkatan luas permukaan geopolimer disebabkan karena peningkatan porositas dibandingkan dengan *fly ash* batubara (Siyal et al., 2019). Hal ini menyebabkan geopolimer akan lebih efektif

jika dijadikan adsorben dibandingkan dengan *fly ash* batubara.

Geopolimer dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya geopolimer konvensional, geopolimer berpori, dan *pervious geopolymer* (Tan et al., 2020). Perbedaan yang mendasar dari geopolimer berpori dan *pervious geopolymer* adalah pori-porinya yang lebih besar.

6. Adsorben

Adsorben merupakan suatu material yang digunakan untuk menyerap ion, logam berat, ataupun zat warna. Selain itu adsorben juga dapat diartikan bahan padat (solid) yang memiliki kemampuan untuk menyerap molekul dari suatu zat (adsorbat) melalui proses adsorpsi (Foo & Hameed, 2010). Adsorben sering digunakan karena memiliki biaya pembuatan yang relatif rendah.

Adsorben dapat terbuat dari zeolit, metakaolin, *fly ash* batubara, abu sekam padi, dan karbon aktif (Ibrahim et al., 2023). Selain berasal dari bahan alam, adsorben juga dapat terbuat dari bahan sintesis seperti resin (Babel

& Kurniawan, 2003). Salah satu pembuatan adsorben dapat dilakukan dengan sintesis geopolimer.

Beberapa hal penting yang dapat mempengaruhi kualitas dari adsorben adalah luas permukaan, volume dan ukuran pori, serta stabilitas kimia dan termal (Gupta, 2009). Luas permukaan yang semakin tinggi dapat memiliki banyak situs aktif. Pada permukaan adsorben dapat melibatkan gaya Van der Waals dan gaya elektrostatik antara adsorbat dan permukaan adsorben (Safitri et al., 2020). Analisis kinerja adsorben dapat menggunakan model isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi (Foo & Hameed, 2010).

7. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan salah satu proses pengolahan limbah (Gobel et al., 2018) dengan cara menyerap limbah logam berat ataupun zat warna. Selain itu menurut Ibrahim *et al.* (2023) adsorpsi merupakan suatu metode yang fleksibel untuk memisahkan zat terlarut dengan pelarutnya. Adsorpsi juga dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk

menghilangkan kesadahan air (Udaibah, 2020).

Efisiensi adsorpsi (%) dalam penyerapan zat warna dapat dihitung melalui persamaan berikut

$$\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

C_0 merupakan konsentrasi awal zat warna dan C_e merupakan konsentrasi zat warna yang telah mencapai kesetimbangan (Purbasari et al., 2023).

Kapasitas adsorpsi dapat dipengaruhi oleh massa, pH, konsentrasi awal larutan, dan waktu kontak. Meningkatnya massa adsorben dapat meningkatkan luas permukaan sehingga semakin banyak situs aktif adsorben terhadap adsorbat (Al-Zboon *et al.*, 2011). Sedangkan pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi ialah semakin rendah pH maka permukaan geopolimer akan bermuatan positif, sehingga zat warna anionik akan semakin mudah untuk diadsorpsi (Purbasari et al., 2023). Selanjutnya pada konsentrasi larutan awal yang digunakan dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi

awal maka kapasitas adsorpsinya akan berkurang, karena jumlah situs aktif pada permukaan adsorben tidak lagi cukup untuk mendukung proses adsorpsi (Purbasari *et al.*, 2023). Waktu kontak yang semakin meningkat akan meningkatkan interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat, sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Irawati *et al.*, 2018). Kapasitas adsorpsi akan cenderung stabil jika telah mencapai kesetimbangan pada waktu tertentu.

Penelitian Purbasari *et al.*, (2023) menunjukkan pengaruh pH, konsentrasi awal larutan, serta lama pengadukan. Kapasitas adsorpsi terhadap *methyl orange* pada pH 2 menunjukkan hasil yang terbaik dan mencapai kesetimbangan pada pengadukan selama 90 menit. Sementara itu, semakin tinggi konsentrasi awal larutan kapasitas adsorpsi semakin rendah. Kapasitas adsorpsi maksimum dengan menggunakan model kinetika pseudo orde kedua dan metode isotherm Langmuir adalah 19,231 mg/g⁻¹.

Persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sehingga dapat dihitung kapasitas adsorpsi dengan persamaan berikut

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{W} \dots\dots\dots (2.4)$$

V merupakan volume zat warna (L) dan W merupakan massa dari adsorben (g).

8. Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi merupakan ilmu yang mempelajari laju reaksi kimia beserta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kinetika reaksi dapat memberikan informasi mengenai laju reaksi adsorpsi. Kinetika reaksi dapat ditentukan melalui tiga model kinetik yaitu pseudo orde satu dan pseudo orde dua (Siyal et al., 2019).

Persamaan kinetik pseudo orde satu dan pseudo orde dua dapat dituliskan sebagai berikut

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana q_t merupakan kapasitas adsorpsi pada waktu (t) dan q_e merupakan kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g). Sedangkan k_1 merupakan konstanta laju kesetimbangan pada orde satu dan k_2 merupakan konstanta kesetimbangan pada orde dua (Taihuttu *et al.*, 2019).

Model kinetika pseudo orde satu dikembangkan oleh Lagergren pada tahun 1898. Pada model ini dapat digunakan untuk sistem dua fasa seperti sistem cair-padat (Kurniati *et al.*, 2019). Konstanta laju kesetimbangan (k_1) dapat diperoleh dari kurva linier dengan memplotkan nilai $\ln(q_e - q_t)$ terhadap waktu (t). Dimana nilai $\ln q_e$ merupakan intersep dari kurva tersebut.

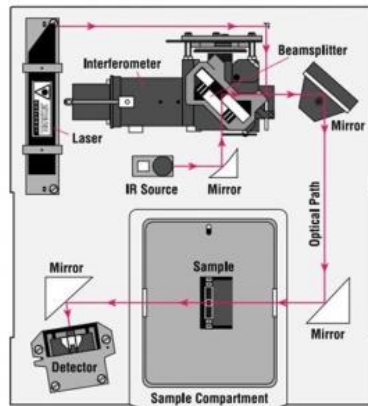
Kemudian model kinetika pseudo orde dua dikembangkan oleh Ho dan McKay pada tahun 1999. Pada model ini dapat menggambarkan interaksi kimia antara adsorbat dan adsorben. Konstanta laju kesetimbangan (k_2) dapat diperoleh dari kurva linier dengan memplotkan nilai $\frac{t}{q_t}$ terhadap

waktu (t). Dimana nilai $\frac{1}{k_2 q_e^2}$ merupakan intersep dari kurva tersebut.

B. Karakterisasi

1. FTIR

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan sebuah alat analisis yang memiliki resolusi tinggi. FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu senyawa (Maryam & Hidayanti, 2023). Rangkaian alat FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.6.

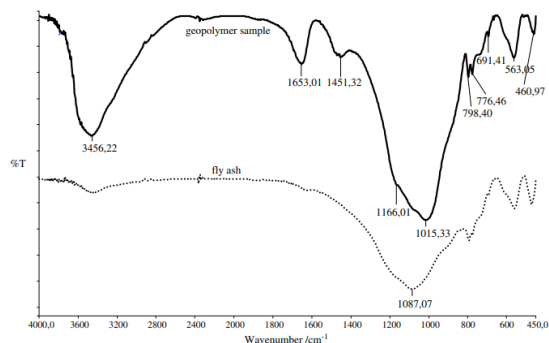


Gambar 2. 6 Rangkaian alat FTIR

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa rangkaian alat FTIR memiliki spektrum yang sangat kompleks. Hal ini dapat menyebabkan

terbentuknya banyak puncak yang menandakan adanya gugus fungsi dengan panjang gelombang tertentu (Abriyani et al., 2022). Komponen utama dari spektrofotometer FTIR adalah *Interferometer Michelson*, di mana *Interferometer Michelson* ini dapat menguraikan radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi.

Spektrum FTIR *fly ash* batubara dan geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.7.

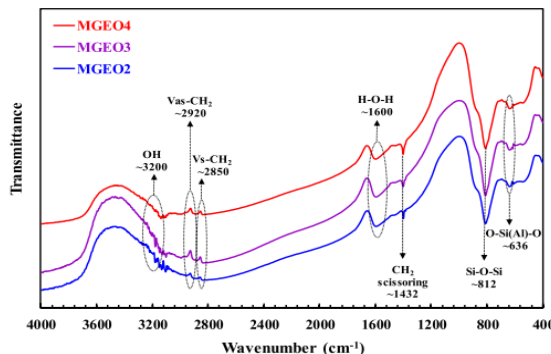


Gambar 2. 7 Spektrum FTIR Fly Ash dan Geopolimer
(Mužek et al., 2014)

Gambar 2.7 menunjukkan perbedaan spektrum IR antara *fly ash* batubara dengan geopolimer. Bilangan gelombang pada *fly ash* batubara berada pada bilangan gelombang

1087,07 cm^{-1} di mana sesuai dengan perenggangan asimetris Si-O-Si dan Al-O-Si. Sedangkan bilangan gelombang geopolimer mengalami pergeseran menjadi lebih tajam dan berada pada bilangan gelombang 1015,33 cm^{-1} . Selain itu pada geopolimer juga muncul bilangan gelombang 1653,01 cm^{-1} dan 3456,22 cm^{-1} yang dikarenakan adanya vibrasi tekuk (H-O-H) dan vibrasi perenggangan (-OH dan H-O-H) (Mužek et al., 2014). Hal tersebut menunjukkan pembentukan produk geopolimer.

Spektrum FTIR geopolimer yang termodifikasi dengan CTAB dapat dilihat pada Gambar 2.8.

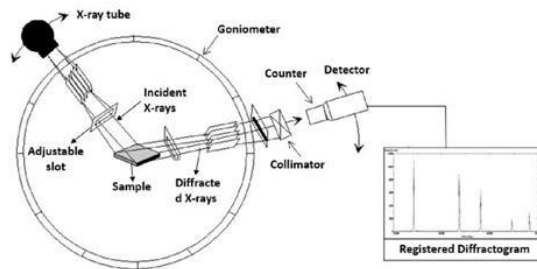


Gambar 2. 8 Spektrum FTIR Geopolimer Termodifikasi CTAB 2%, 3%, dan 4%
(Açışlı et al., 2022)

Gambar 2.8 menunjukkan bilangan gelombang geopolimer yang dimodifikasi CTAB 2%, 3%, dan 4%. Pada bilangan gelombang 2920 dan 2850 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi peregangan simetris dan asimetris dari $-\text{CH}_2$ yang dihasilkan oleh modifikasi CTAB. Selanjutnya pada bilangan gelombang 812 cm^{-1} adanya gugus Si-O-Si.

2. XRD

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode karakterisasi untuk menentukan fasa struktur dalam suatu material. Pada pengidentifikasian fasa struktur XRD menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar x (Setyowati & Widodo, 2017). Selain penentuan fasa struktur, analisis XRD digunakan dalam menentukan jenis mineral dalam suatu batuan (Agrarianda & Djohor, 2020). Rangkaian alat XRD dapat dilihat pada Gambar 2.9.



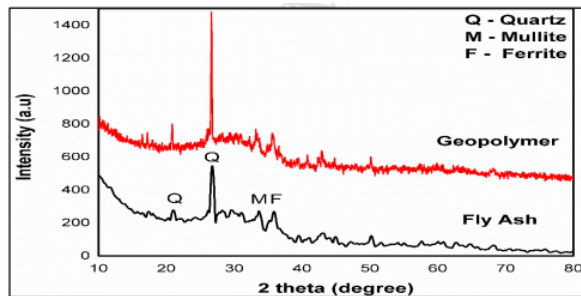
**Gambar 2. 9 Rangkaian Alat X-Ray
Diffraction (XRD)**

Gambar 2.9 merupakan rangkaian alat XRD, dimana sumber sinar x yang dihasilkan berasal dari *x-ray tube*. Sinar x ini akan melewati *adjustable slot* atau celah, dimana celah ini akan mengatur lebar berkas sinar x. Kemudian sinar x akan diarahkan ke sampel oleh *incident x-rays* yang selanjutnya akan bersinggungan dengan elektron pada sampel. Sinar difraksi yang terbentuk akan membentuk pola difraksi yang dideteksi oleh detektor. Pada rangkaian alat XRD juga terdapat ginometer, dimana ginometer ini dapat mengontrol sudut sinar datang.

Menurut Mbiliyora (2024) teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa struktur suatu material ialah dengan menentukan parameter kisinya. Kelebihan dari

XRD ini ialah kemampuan penetrasinya. Hal ini dikarenakan sinar X memiliki energi yang sangat tinggi sehingga panjang gelombang yang dihasilkan pendek (Apriani et al., 2019).

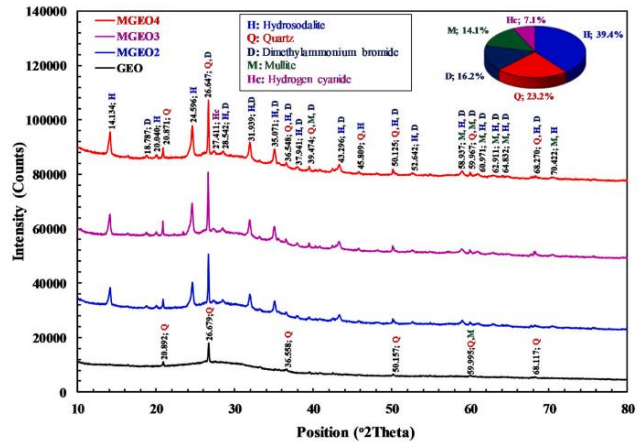
Spektrum XRD *fly ash* dan geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Difraktogram XRD *Fly Ash* dan Geopolimer
(Siyal et al., 2019)

Gambar 2.10 menunjukkan *fly ash* mengandung fase kristal. Sedangkan karakteristik geopolimer dapat dilihat pada daerah 20° hingga 30° pada puncak θ . Geopolimerisasi meningkatkan intensitas beberapa puncak diantaranya pada puncak 2θ dari 21° dan 27° . Puncak tersebut menjadi lebih intens jika dibandingkan dengan puncak pada *fly ash*.

Spektrum XRD geopolimer sebelum dan setelah dimodifikasi dengan CTAB dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Difraktogram XRD Modifikasi Geopolimer dengan CTAB 2%, 3%, dan 4%
(Açışlı et al., 2022)

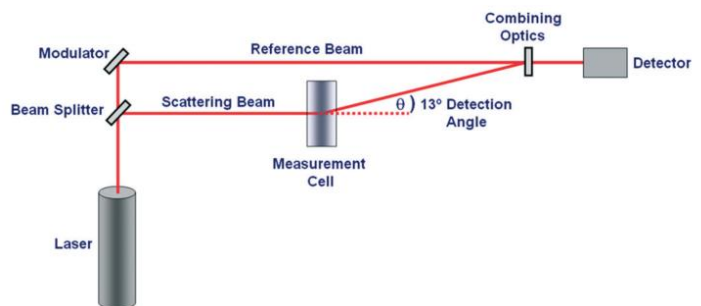
Gambar 2.11 menunjukkan perbedaan antara geopolimer yang telah dan belum dimodifikasi. Pada gambar tersebut terlihat alumina silikat, kuarsa (SiO_2) dan mullit ($\text{Al}_{4.44}\text{Si}_{1.56}\text{O}_{9.78}$) merupakan komposisi utama pada geopolimer dengan masing-masing 71%-29% dari total fase kristal. Perbedaan yang terlihat antara geopolimer yang telah dan belum dimodifikasi adalah pada puncak eksplisit dengan intensitas tinggi. Puncak tersebut muncul sebagai

hidrosodalit ($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{32}\text{H}_{16}$), dimetil amonium bromida ($\text{C}_2\text{H}_8\text{Br}_1\text{N}_1$), hidrogen sianida-Ht ($\text{C}_1\text{H}_1\text{N}_1$). Hal tersebut menunjukkan bahwa hidrosodalit terbentuk karena hidrasi dari kerangka alumina silikat yang dihasilkan dari hidrolisis CTAB.

Hubungan hasil XRD dengan kemampuan adsorpsi ialah pada fasa kristalnya. Pada penelitian Pranoto *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa hasil difraktogram *allophane-like* tidak memiliki puncak sehingga memiliki sifat amorf, namun setelah dikalsinasi pada suhu 600°C memiliki puncak difraktogram yang spesifik. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah dikalsinasi *allophane-like* memiliki fasa kristal. Kapasitas adsorpsi *allophane-like* yang bersifat amorf lebih besar daripada yang berfasa kristal. Hal ini disebabkan pada sifat amorf terjadi penataan molekul yang rendah sehingga lebih banyak memiliki situs aktif dan area permukaan yang lebih besar.

3. Zeta Potensial

Zeta potensial merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui sifat muatan partikel. Sifat muatan partikel berkaitan dengan elektrostatis partikel (Fajar *et al.*, 2021). Sehingga, zeta potensial juga dapat digunakan untuk mengetahui besarnya tarikan atau tolakan antar partikel (Ambarwati & Yulianita, 2022). Gambar 2.12 merupakan rangkaian alat zeta potensial.



Gambar 2. 12Rangkaian Alat Zeta Potensial
(Lowry et al., 2016)

Gambar 2.12 merupakan rangkaian alat zeta potensial. Potensial zeta dapat ditentukan dengan mengukur partikel di bawah medan listrik. Nilai zeta potensial di atas ± 30 mV akan dianggap cukup stabil

karena memiliki gaya tolak elektrostatis yang cukup tinggi (Lowry et al., 2016).

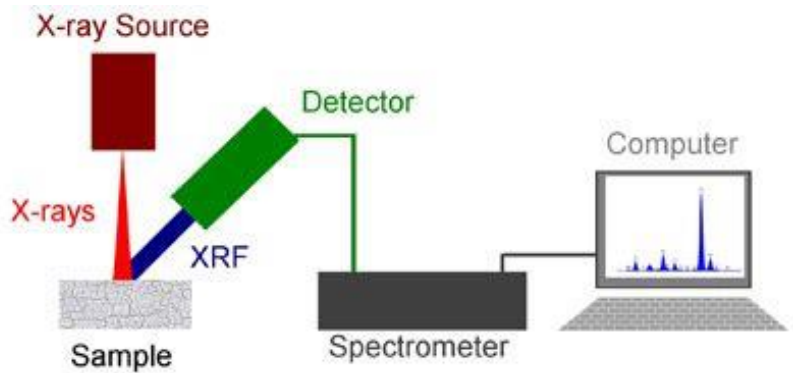
Pengujian menggunakan zeta potensial memerlukan adanya larutan pendispersi. Larutan pendispersi ini dapat berfungsi sebagai pengontrol lingkungan ionik pada geopolimer saat pengujian. Hal ini dikarenakan zeta potensial akan mengukur muatan partikel yang tersebar dalam larutan pendispersi (Ramadhani *et al.*, 2024).

Penelitian Al-Zboon *et al.*, (2011) menunjukkan penyerapan terbaik terhadap Pb terjadi pada pH 5. Hal ini dikarenakan pada pH rendah akan menghasilkan H_3O^+ berlebih di mana akan terjadi persaingan ion positif antara Pb^{2+} . Selain itu, pada pH rendah geopolimer akan bermuatan lebih positif.

4. XRF

X-Ray Fluorescence (XRF) dapat digunakan untuk mengetahui jenis dan persentase unsur yang terkandung dalam suatu sampel. XRF dapat digunakan untuk pengujian kuantitatif maupun kualitatif

(Hanum *et al.*, 2020). Rangkaian alat XRF dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Rangkaian Alat XRF

Gambar 2.13 merupakan rangkaian alat XRF. Pada rangkaian alat XRF tersebut terdapat *X-ray source* yang berfungsi sebagai sumber sinar X. Kemudian terdapat detektor yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur sinar radiasi fluoresensi yang dihasilkan oleh sampel yang telah terpapar sinar X. Selain itu, pada rangkaian alat XRD juga terdapat filter. Filter ini terletak diantara tabung sinar X dan sampel, dimana berfungsi sebagai penyaring berkas sinar X yang dipancarkan oleh tabung sinar X. Selanjutnya terdapat *collimators* yang berfungsi untuk

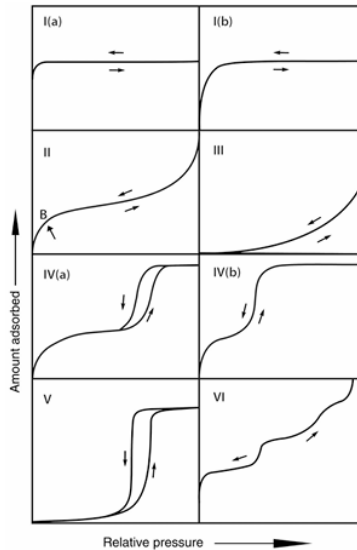
memperjelas berkas sinar X yang dipancarkan dari sampel (Setiabudi *et al.*, 2012).

Penelitian Nurfitria & Febriyantiningrum (2023) diperoleh hasil XRF *fly ash* batubara dengan kandungan SiO_2 42,83%, Al_2O_3 13,00%, Fe_2O_3 21,86%, CaO 10,7%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* yang digunakan ialah *fly ash* tipe F. Hal ini dikarenakan *fly ash* tipe F tidak memiliki sifat *selfcementing* yang ditunjukkan dengan kadar CaO kurang dari 20%.

5. SAA

Surface Area Analyzer (SAA) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui luas permukaan sampel (Irawati *et al.*, 2018). Instrumen SAA memungkinkan pengukuran isoterm adsorpsi dengan menggunakan metode *Brunauer Emmett Teller* (BET) (Irwansyah *et al.*, 2024). Gas yang umumnya digunakan pada metode BET adalah gas nitrogen (N_2) yang berfungsi sebagai adsorbat karena sifatnya yang inert.

Berdasarkan rekomendasi IUPAC pada tahun 1985, isoterm adsorpsi dibagi menjadi enam jenis seperti pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 Klasifikasi Isoterm Adsorpsi
(Thommes et al., 2015)

Gambar 2.14 merupakan klasifikasi isoterm adsorpsi. Menurut Thommes *et al.*, (2015) klasifikasi isoterm adsorpsi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut

a. Isoterm tipe I

Isoterm tipe I bersifat reversibel yang berasal dari mikropori yang memiliki

permukaan eksternal yang relatif kecil. Isoterm tipe I memiliki bentuk yang cekung terhadap sumbu P/P_0 dan jumlah yang diserap mendekati nilai pembatas. Pada isoterm tipe I terdapat isoterm tipe I(a) dan I(b). Isoterm tipe I(a) berasal dari material mikropori yang memiliki luas pori $< \sim 1 \text{ nm}$. Sedangkan untuk isoterm tipe I(b) berasal dari material yang memiliki distribusi ukuran pori dalam rentang yang lebih luas yaitu $< \sim 2,5 \text{ nm}$.

b. Isoterm tipe II

Isoterm tipe II bersifat reversibel yang berasal dari fisisorpsi yang sebagian besar terdiri dari gas pada adsorben nonpori ataupun makropori. Isoterm tipe II memiliki bentuk yang merupakan hasil dari adsorpsi monolapis-multilapis yang tidak terbatas terhadap P/P_0 tinggi. Pada isoterm tipe II adsorpsi monolayer ditandai dengan titik awal (B) hingga bagian terengah hampir linier. Sedangkan untuk adsorpsi multilayer ditandai dengan nilai $P/P_0 = 1$.

c. Isoterm tipe III

Pada isoterm tipe III tidak terdapat titik awal (B) sehingga tidak ada lapisan tunggal yang dapat diidentifikasi. Interaksi antar adsorben dan adsorbat relatif lemah, dan molekul yang teradsorpsi akan mengelompok di sekitar lokasi yang paling menguntungkan baik pada permukaan padatan nonpori maupun mikropori. Pada isoterm tipe III jumlah zat yang teradsorpsi terbatas pada tekanan jenuh yaitu pada $P/P_0 = 1$.

d. Isoterm tipe IV

Isoterm tipe IV berasal dari adsorben mesopori. Perilaku adsorpsi dalam mesopori dipengaruhi oleh interaksi antara adsorben dan adsorbat serta interaksi antar molekul dalam keadaan terkondensasi. Ciri khas isoterm tipe IV dataran saturasi akhir dengan panjang yang bervariasi. Pada isoterm tipe IV terdapat isoterm tipe IV (a) dan IV (b). Isoterm tipe IV (a) pada kondensasi kapiler disertai dengan histeresis. Hal ini terjadi ketika lebar pori

melibihi lebar kritis tertentu yang bergantung pada sistem adsorpsi dan suhu. Sedangkan isoterm tipe IV (b) memiliki mesopori dengan lebar yang lebih kecil. Pada prinsipnya isoterm tipe IV (b) berasal dari mesopori yang berbentuk kerucut dan silinder yang ditutup pada ujung meruncing.

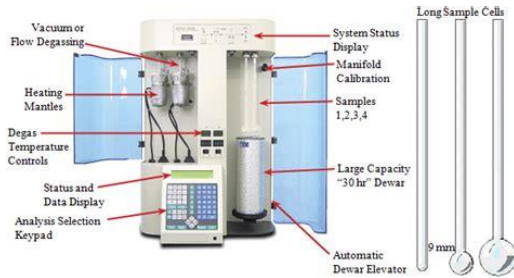
e. Isoterm tipe V

Isoterm tipe V memiliki bentuk yang mirip dengan isoterm tipe III dengan rentang P/P_0 rendah, sehingga interaksi antara adsorben dan adsorbat relatif lemah. Pada tekanan P/P_0 yang lebih tinggi akan diikuti dengan pengisian pori. Isoterm tipe V dapat diamati untuk penyerapan air pada adsorben mikropori dan mesopori hidrofobik.

f. Isoterm tipe VI

Isoterm tipe VI merupakan representasi dari penyerapan lapis demi lapis pada permukaan nanopori yang sangat tajam.

Rangkaian alat SAA dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Rangkaian Alat SAA

Gambar 2.15 menunjukkan rangkaian SAA. Menurut penelitian Osterrieth (2022) metode BET pada instrumen SAA digunakan untuk memperkirakan luas material permukaan berpori. Untuk menghitung luas permukaan dengan menggunakan metode BET dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{P}{W(P_0 - P)} = \frac{1}{W_m C_B} + \frac{C_B - 1}{W_m C_B} \left(\frac{P}{P_0} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana W merupakan berat gas yang diserap pada tekanan kesetimbangan P, C_B merupakan konstanta energi adsorpsi, P/P_0 merupakan tekanan kesetimbangan adsorpsi,

P_0 merupakan tekanan jenuh adsorpsi, dan W_m merupakan berat gas yang diserap sebagai lapisan tunggal (Irwansyah et al., 2024). Berdasarkan persamaan 2.7 maka dapat diketahui *slope* (s) dan *intersep* (i), sehingga berat gas nitrogen yang membentuk lapis tipis (*monolayer*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$W_m = \frac{1}{s+i} \quad \text{..... (2.8)}$$

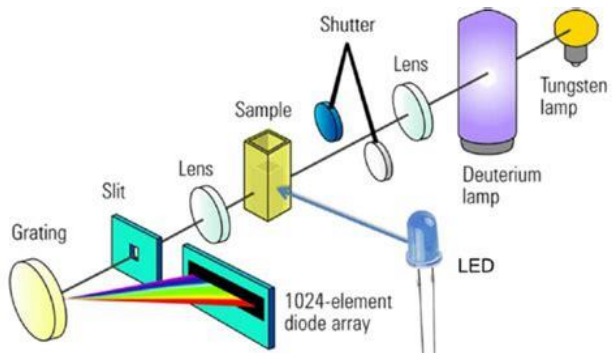
Hasil perhitungan persamaan 2.8 dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan total dari sampel, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut

$$S_t = \frac{W_m \cdot N \cdot Acs}{M} \quad \text{..... (2.9)}$$

Dimana N merupakan bilangan Avogadro ($6,203 \times 10^{23}$ molekul/mol), Acs merupakan *Cross Section Area*, dan M merupakan berat molekul gas nitrogen. Hasil penelitian dari Açılı et al., (2022) menunjukkan hasil dari rata-rata ukuran pori geopolimer sebelum dan sesudah modifikasi sebesar 9,792 nm dan 11,694 nm.

6. Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis) merupakan salah satu instrumen yang digunakan dalam menentukan kadar suatu sampel (Arbiyani et al., 2022). UV-Vis dapat menciptakan panjang gelombang dan intensitas cahaya tertentu yang dapat ditransmisikan. Teknik analisis pada UV-Vis ialah dengan menggunakan sumber radiasi elektromagnetik UV dekat dan sinar tampak (visibel) (Arbiyani et al., 2022). Gambar 2.14 merupakan gambar Spektrofotometri UV-Vis.



Gambar 2. 16 Rangkaian Alat Spektrofotometri UV-Vis

Gambar 2.16 merupakan rangkaian alat UV-Vis, dimana pada alat tersebut terdapat sumber cahaya, monokromator, serta sel atau

kuvet. Selain itu juga terdapat detektor. Sumber cahaya sendiri terbagi menjadi lampu tungsten dan lampu deuterium, dimana lampu tungsten merupakan sumber cahaya dari sinar visibel dan lampu deuterium merupakan sumber cahaya dari sinar UV. Kemudian terdapat monokromator yang terdiri dari celah (*slitt*) serta prisma dan kisi (*grating*). Celah (*slitt*) berfungsi untuk mengontrol lebar berkas cahaya. Sedangkan prisma dan kisi (*grating*) berfungsi untuk memecah cahaya putih menjadi spektrum komponennya. Selanjutnya terdapat sel atau kuvet yang merupakan tempat sampel yang akan dianalisis. Pada sampel akan terjadi penyerapan sinar, sinar yang tidak terserap akan terbaca oleh detektor. Rentang dari panjang gelombang ultraviolet ialah 10 – 340 nm. Sedangkan rentang panjang gelombang visibel ialah 340 – 760 nm (Tando, 2019).

C. Penelitian yang Relevan

Penelitian Hardjito *et al.*, (2004) membahas mengenai kombinasi aktivator alkali NaOH dan Na₂SiO₃. Penelitian ini menggunakan variasi

konsentrasi NaOH (8 M dan 14 M) serta rasio massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ (0,4 dan 2,5). Hasilnya ialah bahwa kombinasi antara NaOH 14M dan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2,5 menunjukkan hasil yang terbaik. Penelitian ini juga menegaskan bahwa penambahan sodium silikat secara signifikan dapat meningkatkan reaktivitas sistem, mempercepat pembentukan geopolimer, dan menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat secara mekanik.

Pada penelitian Purbasari *et al.* (2023) pembuatan geopolimer menggunakan aktivator alkali yang terdiri dari NaOH 10N dan Na_2SiO_3 35% serta H_2O_2 30% sebagai agen penambah pori. Penggunaan adsorben pada penelitian ini adalah untuk mengadsorbsi zat warna *methyl orange*. Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pH, lama pengadukan, dan konsentrasi awal *methyl orange*. Optimasi pH yang digunakan mulai dari pH 2, 4, 7, 10, dan 12. Sedangkan lama pengadukan di optimasi mulai dari 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 menit dan konsentrasi awal *methyl orange* di optimasi mulai dari 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mg/L. Hasil pada penelitian ini menunjukkan adsorpsi terbaik pada pH 2 dan

mencapai kesetimbangan pada waktu 90 menit dengan kapasitas adsorpsi 19,231 mg/g. Semakin besar konsentrasi awal *methyl orange* semakin menurun efisiensi penyerapan adsorben. Hal ini dikarenakan tidak mencukupinya situs aktif pada adsorben dengan meningkatnya konsentrasi awal *methyl orange*.

Penelitian Hoai *et al.* (2024) juga menambahkan H_2O_2 sebagai agen penambah pori. H_2O_2 yang ditambahkan pada adsorben geopolimer menggunakan perbandingan 0%, 4,5%, dan 8,5% terhadap *fly ash* batubara. Perbandingan 8,5% menunjukkan hasil adsorpsi amonium tertinggi.

Penelitian Açışlı *et al.* (2022) mengenai adsorben geopolimer berbasis *fly ash* dimodifikasi dengan penambahan CTAB. Penambahan CTAB ini bertujuan untuk menjadikan muatan permukaan geopolimer menjadi positif. Pada penelitian ini adsorben geopolimer termodifikasi digunakan untuk menyerap zat warna anionik *acid blue 185*. Modifikasi CTAB pada penelitian ini adalah 2%, 3%, dan 4% dari berat geopolimer. Hasilnya menunjukkan bahwa penyerapan optimum terjadi pada modifikasi CTAB 4%. Hal ini didukung dengan

hasil BET, dimana pada geopolimer termodifikasi CTAB 4% menunjukkan bahwa terjadi peningkatan lebar pori dari 9,792 nm menjadi 11,694 nm.

Berdasarkan kajian literatur, maka peneliti ingin membuat adsorben geopolimer dengan memanfaatkan limbah *fly ash* batubara PLTU Cilacap dengan modifikasi menggunakan CTAB 3%, 4%, dan 5%. Pada penelitian sebelumnya adsorben geopolimer biasa digunakan sebagai penyerapan *methyl orange*, *acid blue 185*, dan amonium. Sehingga peneliti ingin menggunakan adsorben geopolimer termodifikasi ini sebagai penyerap zat warna *acid orange 7*.

D. Hipotesis

Adsorben geopolimer berbasis *fly ash* batubara dapat digunakan sebagai penyerap zat warna. Jika penambahan CTAB pada geopolimer dapat menjadikan permukaan geopolimer memiliki muatan positif, maka geopolimer dapat lebih efektif digunakan untuk menyerap zat warna anionik. Hal ini dikarenakan terdapat interaksi elektrostatik antara muatan pada permukaan geopolimer dengan muatan pada *acid orange 7*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 – Juni 2025 yang bertempat di laboratorium kimia UIN Walisongo Semarang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya erlenmeyer, kertas saring, gelas beaker, *magnetic stirrer* (Yenaco), neraca analitik (AND; HR-200), oven (Memmert; UN 30), spatula, corong, kaca arloji, ayakan 100 mesh, labu ukur, pipet volume, pipet tetes, botol plastik, batang pengaduk, cetakan geopolimer, alu dan mortar, tube *certrifuge*, *centrifuge* (Scilogex; DM0412), *shaker*, *X-Ray Diffraction* (XRD) (Panalytical), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) (Alpha II Bruker), *X-Ray Flourescence* (XRF) (Panalytical), *Zeta Potential* (Horiba Science), *Surface Area Analyzer* (SAA) (Quantachrom Instruments), Spektrofotometer UV-Vis (Thermo Scientific; Aquamate 8000).

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya *acid orange 7* tianyu chemicals, *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)* p.a 50 ppm, *fly ash* batubara PLTU Adipala Cilacap, serbuk NaOH merck p.a, Na₂SiO₃ merck p.a, H₂O₂ merck p.a 30%, HCl 0,1M teknis, aquades.

C. Prosedur Kerja

1. Sintesis Geopolimer

Merujuk pada penelitian Purbasari *et al.*, (2023) *fly ash* diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Kemudian dicampur menggunakan aktivator alkali dengan perbandingan massa 2,5:1 (b/b). Aktivator alkali yang digunakan adalah NaOH 10N dan Na₂SiO₃ 35% dengan perbandingan massa 1:1 (b/b). Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit dengan kecepatan rendah. Lalu dimasukkan H₂O₂ sebanyak 1% dari massa *fly ash* yang digunakan dan diaduk selama 2 menit. Pasta geopolimer kemudian dimasukkan ke dalam

cetakan geopolimer berukuran 5 cm x 5 cm x 2,5 cm dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian dipanaskan pada suhu 60°C selama 24 jam, lalu dihancurkan. Geopolimer kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, *Zeta Potential* dan XRD.

2. Modifikasi Geopolimer

Setelah dihancurkan, geopolimer dimodifikasi menggunakan CTAB dengan persentase 3% (Geo-C3), 4% (Geo-C4), dan 5% (Geo-C5). Pembuatan Geo-C3, Geo-C4, dan Geo-C5 ialah dengan melarutkan 0,12; 0,16; dan 0,2 g CTAB masing-masing ke dalam 25 ml aquades. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirer* hingga larut sempurna. Selanjutnya dimasukkan masing-masing 4 g geopolimer ke dalam larutan CTAB.

Geopolimer yang telah ditambahkan CTAB diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 2 jam. Kemudian disaring dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 1 jam. Kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SAA.

3. Uji Awal

Geopolimer (Geo), Geo-C3, Geo-C4, dan Geo-C5 dilakukan uji awal untuk mengetahui kapasitas adsorpsi terbaik dalam penyerapan *acid orange 7*. Masing-masing geopolimer ditimbang sebanyak 0,2 g. Kemudian dimasukkan ke dalam larutan *acid orange 7* 50 ppm. Kemudian digojog dengan kecepatan 250 rpm selama 1 jam. Kemudian *dicentrifuge* dengan kecepatan 3000 rpm dan filtratnya diuji menggunakan spektofotometer UV-Vis. Selanjutnya dihitung kapasitas adsorpsinya menggunakan persamaan 2.4.

4. Optimasi Kondisi

a. pH

Setelah didapatkan persentasi optimal pada modifikasi CTAB, kemudian dilakukan optimasi pH. Optimasi pH dilakukan pada pH 3, 5, 6, 7, dan 9. Sebanyak 0,2 g geopolimer termodifikasi dimasukkan ke dalam larutan *acid orange 7* 50 ppm. Kemudian digojog dengan kecepatan 250 rpm selama 1 jam. Kemudian *dicentrifuge* dan filtratnya diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Selanjutnya, dihitung kapasitas adsorpsinya menggunakan persamaan 2.4.

b. Waktu Kontak

Geopolimer termodifikasi sebanyak 0,2 g pada pH optimum dimasukkan ke dalam larutan *acid orange 7* 50 ppm. Kemudian digojog dengan kecepatan 200 rpm selama 0, 2, 10, 20, 50, 60, 70, 90, dan 120 menit. Setelah itu, kemudian *dicentrifuge*. Filtrat yang telah didapatkan kemudian diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Selanjutnya, dihitung kapasitas adsorpsinya menggunakan persamaan 2.4.

5. Penentuan Model Kinetika Reaksi

a. Pseudo Orde 1

Penentuan model kinetika reaksi ditentukan berdasarkan data hasil optimasi adsorpsi waktu kontak. Berdasarkan data yang telah diperoleh, kemudian dibuat kurva linier orde satu dengan memplotkan nilai $\ln(q_e - q_t)$ terhadap waktu (t). Sehingga didapatkan nilai koefisien regresi (R^2) serta nilai konstanta laju kesetimbangan (k) yang

dapat dihitung dari persamaan garis yang diperoleh menggunakan persamaan 2.5.

b. Pseudo Orde 2

Kurva linier pseudo orde dua dibuat dengan memplotkan nilai $\frac{t}{q_t}$ terhadap waktu (t). Sehingga didapatkan nilai koefisien regresi (R^2) serta nilai konstanta laju kesetimbangan (k) yang dapat dihitung dari persamaan garis yang diperoleh menggunakan persamaan 2.6.

BAB IV

PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan adsorben dengan sintesis geopolimer berbasis *fly ash* batubara yang dimodifikasi menggunakan CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*). Adsorben ini akan digunakan untuk menyerap *acid orange 7* 50 ppm. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari CTAB 3%, CTAB 4%, dan CTAB 5%. Modifikasi yang paling optimum akan digunakan untuk optimasi pH dan kontak waktu terhadap *acid orange 7* 50 ppm. Hasil penelitian ini akan disajikan dalam bentuk pembahasan mengenai karakteristik adsorben geopolimer, kemampuan dan pengaruh penambahan CTAB pada adsorben geopolimer, dan kinetika reaksi pada penyerapan *acid orange 7* oleh adsorben geopolimer termodifikasi yang paling optimum berdasarkan uji awal.

A. Karakterisasi *Fly Ash*

Fly ash batubara yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Adipala Cilacap. Kandungan unsur dan oksida dalam *fly ash* ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4. 1 Kandungan Unsur *Fly Ash* Batubara
PLTU Adipala**

Unsur	Kadar (%)	Unsur	Kadar (%)
Al	10	Fe	32,5
Si	22,3	Cu	0,084
K	1,51	Sr	1,1
Ca	24,7	Zr	0,3
Ti	1,60	Mo	4,0
V	0,03	Ba	0,3
Cr	0,089	Eu	0,52
Mn	0,39	Re	0,41

**Tabel 4. 2 Kandungan Oksida *Fly Ash* Batubara
PLTU Adipala**

Oksida	Kadar (%)	Oksida	Kadar (%)
Al ₂ O ₃	14	Fe ₂ O ₃	24,6
SiO ₂	32,7	CuO	0,052
K ₂ O	1,12	SrO	0,65
CaO	20,6	ZrO ₂	0,2
TiO ₂	1,51	MnO ₃	3,9
V ₂ O ₅	0,03	BaO	0,2
Cr ₂ O ₃	0,072	Eu ₂ O ₃	0,33
MnO	0,27	Re ₂ O ₇	0,27

Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2 dapat diketahui persentase unsur dan oksida yang terkandung pada *fly ash* batubara PLTU Cilacap. *Fly ash* ini termasuk tipe C dimana kandungan oksida CaO lebih dari 10% (Salain et al., 2020). Hal ini juga dikemukakan Tsimas & Moutsatsou-Tsima (2005) bahwasanya secara umum *fly ash* tipe C memiliki kandungan kalsium yang

signifikan. Adanya unsur Si dan Al dalam *fly ash* juga dapat membentuk aluminosilikat pada geopolimer sehingga terbentuk ikatan Si-O-Al. Gambar 4.1 merupakan gambar *fly ash* batubara PLTU Adipala Cilacap.



Gambar 4. 1 *Fly Ash* Batubara

Gambar 4.1 menunjukkan *fly ash* yang digunakan berwarna kecoklatan. Hal tersebut dapat diklasifikasikan sebagai BTG (Batubara Tertambang Guna) I (Sari *et al.*, 2023). Selain itu juga dapat dikarenakan adanya Fe_2O_3 yang menyebabkan warna *fly ash* menjadi lebih gelap (Tahir *et al.*, 2022).

B. Sintesis Geopolimer

Geopolimer merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai adsorben. Sintesis geopolimer ini menggunakan alkali aktivator yang

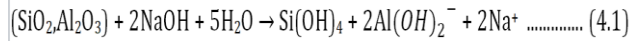
terdiri dari NaOH dan Na_2SiO_3 dengan perbandingan 1:1 (b/b). Alkali aktivator ini berperan sebagai pemercepat terjadinya reaksi polimerisasi (Ekaputri & Triwulan, 2011). Ion hidroksida pada alkali aktivator akan bereaksi dengan Si dan Al pada *fly ash* batubara dan melepas H_2O untuk membentuk ikatan polimer yang lebih panjang (Salain et al., 2020).

Perbandingan *fly ash* yang digunakan dengan alkali aktivator ialah 2,5:1 (b/b). Kemudian ditambahkan H_2O_2 sebagai agen penambah pori sebanyak 1% dari massa *fly ash*. Hal ini dikarenakan H_2O_2 dapat melepaskan oksigen secara perlahan sehingga distribusi gelembung dapat merata dan mengakibatkan melebarnya permukaan pori (Sarazin et al., 2021).

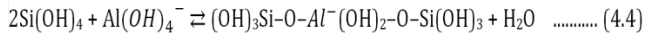
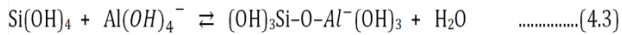
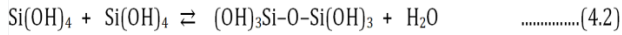
Setelah penambahan aktivator alkali dan H_2O_2 terbentuklah pasta geopolimer. Pasta geopolimer ini dicetak pada cetakan geopolimer dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 2,5 cm dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian dipanaskan pada suhu 60°C selama 24 jam.

Reaksi yang dapat terjadi pada pembentukan geopolimer ini dibagi menjadi empat tahap yaitu (Al-Husseiny & Ebrahim, 2021):

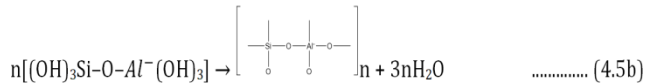
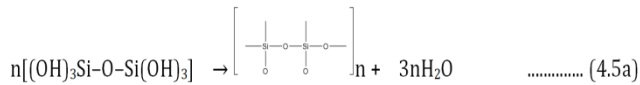
1. Pelarutan Si dan Al dari aluminosilikat pada larutan berair dalam keadaan sangat basa



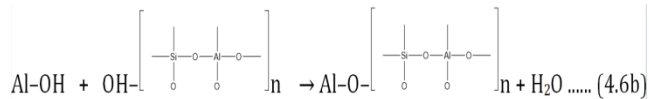
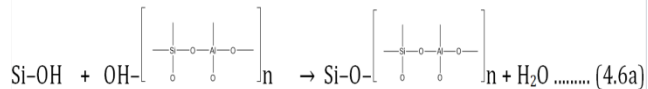
2. Pembentukan oligomer Si dan Si-Al dalam fasa air



3. Polikondensasi oligomer untuk membentuk kerangka aluminosilikat tiga dimensi



4. Penggabungan partikel padat ke dalam struktur geopolimer dari keseluruhan sistem

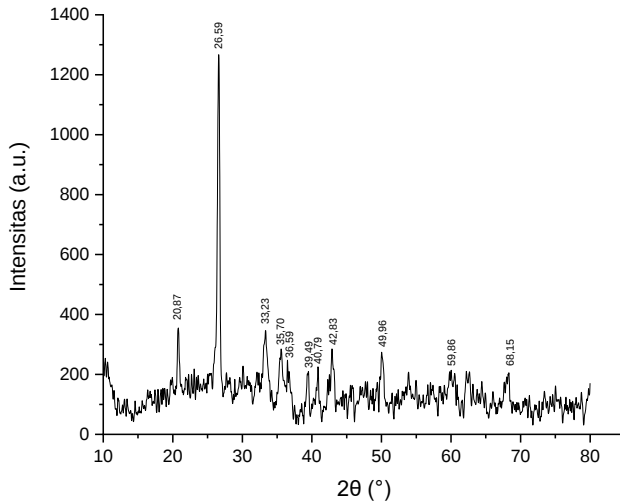


Material geopolimer yang telah disintesis dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Geopolimer

Gambar 4.2 merupakan hasil geopolimer yang telah disintesis, dimana menunjukkan warna yang lebih gelap daripada *fly ash* batubara. Hal ini dapat dikarenakan terbentuknya aluminosilikat pada saat pembentukan geopolimer dan adanya Fe_2O_3 yang tertahan pada material geopolimer (Tahir et al., 2022). Terbentuknya geopolimer dapat dibuktikan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD, dengan difraktogram yang dapat dilihat pada Gambar 4.3

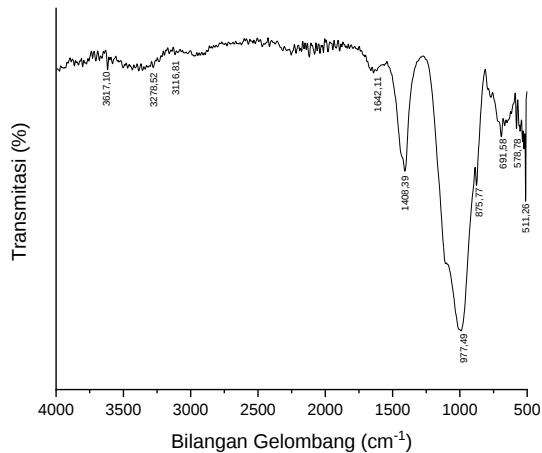


Gambar 4. 3 Difraktogram Geopolimer

Gambar 4.3 pada puncak $26,59^\circ$ terdapat puncak yang menandakan terbentuknya geopolimer. Pada daerah tersebut terdapat fasa amorf yang ditandai melebarnya puncak pada daerah 20° hingga 30° . Selain itu pada daerah 20° hingga 30° juga menandakan adanya aluminosilikat yang merupakan ciri khas dari geopolimer. Hal ini sesuai dengan penelitian Siyal *et al.*, (2019) yang menunjukkan adanya puncak pada sudut 21° hingga 27° . Pada sudut $20,87^\circ$, $26,59^\circ$, $35,70^\circ$, $40,79^\circ$, $59,86^\circ$, $68,15^\circ$

menunjukkan adanya *quartz* (SiO_2) dimana sesuai dengan data JCPDS no 85-0796 (Kumar *et al.*, 2016). Selain itu pada sudut $33,23^\circ$ (Kumar *et al.*, 2016), dan $59,86^\circ$ (Açışlı *et al.*, 2022) juga menandakan adanya mullit ($\text{Al}_{4.44}\text{Si}_{1.56}\text{O}_{9.78}$) dimana sesuai dengan data JCPDS no 74-4132.

Selain itu, terbentuknya geopolimer juga dibuktikan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan FTIR dengan spektrum yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Spektrum FTIR Geopolimer

Gambar 4.4 merupakan spektrum FTIR dari geopolimer, dimana pada spektrum tersebut terdapat

bilangan gelombang $3617,10 \text{ cm}^{-1}$, $3278,52 \text{ cm}^{-1}$, dan $3116,81 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya daerah peregangan O-H. Selain itu juga terdapat bilangan gelombang $1642,11 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk H-O-H seperti yang terdapat pada penelitian Mužek *et al.*, (2014). Bilangan gelombang yang muncul pada $977,49 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya aluminosilikat karna terdapat serapan Si-O-Al. Hal ini menunjukkan telah terbentuknya geopolimer (Hamid *et al.*, 2024).

C. Modifikasi Geopolimer

Setelah geopolimer terbentuk, selanjutnya dilakukan modifikasi dengan CTAB. Modifikasi ini bertujuan untuk mengubah muatan permukaan geopolimer menjadi positif (Açışlı *et al.*, 2022). Hal ini ditunjukkan oleh nilai zeta potensial geopolimer dan geopolimer termodifikasi pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai Zeta Potensial Geopolimer dan Geopolimer Termodifikasi

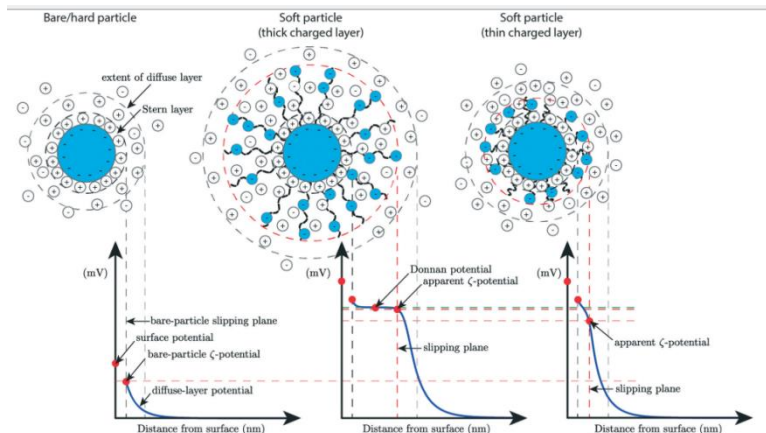
Sampel	Muatan			Rata-Rata (mV)
	mV	mV	mV	
Geopolimer	-28,6	-31,1	-28,1	-29,26
Geo-C3	-31,9	-29,5	-31,3	-30,9
Geo-C4	-37,0	-36,6	-36,8	-36,8
Geo-C5	-32,7	-32,8	-32,6	-32,7

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa muatan pada geopolimer adalah $-29,26\text{mV}$. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai zeta potensial yang didapatkan kurang stabil. Berbeda dengan penelitian Lowry *et al.*, (2016) yang menyatakan bahwa nilai zeta potensial diatas $\pm 30\text{mV}$ akan dianggap cukup stabil. Kurang stabilnya nilai zeta potensial yang didapatkan bisa disebabkan oleh tipe *fly ash* yang digunakan. Hal ini dikarenakan *fly ash* tipe C memiliki kandungan Si yang lebih sedikit dibandingkan dengan *fly ash* tipe F. Kadar SiO_2 pada *fly ash* tipe C sebesar 32,7%, sedangkan pada *fly ash* tipe F dapat mencapai 62% (Bae *et al.*, 2017). Sehingga semakin rendah rasio Si maka akan semakin kurang negatif nilai zeta potensialnya (López *et al.*, 2014).

Setelah mengetahui muatan pada geopolimer dilakukan modifikasi menggunakan CTAB. Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai zeta potensial setelah dimodifikasi dengan CTAB bernilai negatif. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya deprotonasi pada permukaan geopolimer (Revathi *et al.*, 2017), sehingga menghasilkan muatan negatif.

Selain itu dapat diasumsikan bahwa atom Br pada CTAB dapat terlepas dan berada pada lapisan

difusi, sehingga membentuk Br^- . Menurut Lowry *et al.*, (2016) nilai dari zeta potensial bukanlah nilai muatan pada permukaan partikel melainkan permukaan imajiner geser hidrodinamik. Oleh karena itu, nilai zeta potensial dapat bernilai negatif meskipun telah termodifikasi CTAB. Skema distribusi muatan dan potensial listrik disekitar partikel bermuatan dalam larutan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Lapisan Ganda Zeta Potensial

(Lowry et al., 2016)

Gambar 4.5 menunjukkan adanya lapisan ganda pada saat pengujian zeta potensial. Gambar tersebut juga menunjukkan adanya *slipping plane* dimana tempat pengukuran nilai zeta potensial.



Gambar 4.6 merupakan spektrum perbandingan antara CTAB dengan geopolimer termodifikasi CTAB pada berbagai persentase. Spektrum geopolimer termodifikasi terdapat bilangan gelombang $2923,30\text{ cm}^{-1}$ hingga $2859,45\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi peregangan simetris dan

asimetris dari $-\text{CH}_2$ (Açışlı et al., 2022). Bilangan gelombang $1382,67 \text{ cm}^{-1}$ hingga $1348,88 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya peregangan C-N. Selain itu juga terdapat perubahan intensitas dan pola serapan Si-O-Al pada daerah bilangan gelombang 1000 cm^{-1} hingga 500 cm^{-1} . Hal tersebut dapat dikatakan berhasilnya modifikasi geopolimer menggunakan CTAB.

Karakterisasi selanjutnya pada modifikasi geopolimer ialah dengan menggunakan SAA, dimana untuk mengetahui luas permukaan sampel. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

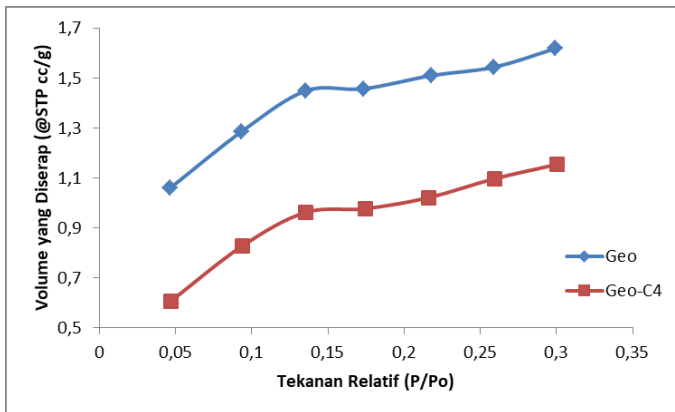
Tabel 4. 4 Hasil analisis SAA BET

Parameter	Sampel	
	Geo	Geo-C4
Luas Permukaan (m^2/g)	5,003	3,678
Luas Permukaan Total (m^2/g)	5,153	3,789

Tabel 4.4 menunjukkan luas permukaan Geo lebih luas daripada luas permukaan Geo-C4 yaitu sebesar $5,003 \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan luas permukaan Geo-C4 yaitu sebesar $3,678 \text{ m}^2/\text{g}$. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian Singhal *et al.*, (2017) yang menunjukkan bahwasannya geopolimer termodifikasi CTAB memiliki luas permukaan lebih luas. Menurunnya luas permukaan pada Geo-C4 dapat disebabkan karena

tertutupnya permukaan geopolimer oleh CTAB, sehingga mengakibatkan adsorpsi molekul N_2 menurun pada saat proses pengukuran luas permukaan (Mostafa *et al.*, 2023). Luas permukaan total yang didapat menunjukkan hasil analisis instrumen SAA dengan hasil analisis perhitungan tidak jauh berbeda.

Isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 pada Geo dan Geo-C4 mengikuti isoterm adsorpsi-desorpsi tipe II. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi N_2 Geo dan Geo-C4

Gambar 4.7 merupakan isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 tipe II. Hal ini menyatakan bahwa Geo dan Geo-C4 tergolong bahan nonpori ataupun makropori. Isoterm tipe II ini juga ditandai adanya titik infleksi

(tekukan) pada P/P_0 sekitar 0,1-0,3 yang menunjukkan pembentukan lapisan monolayer.

D. Pengaplikasian Geopolimer

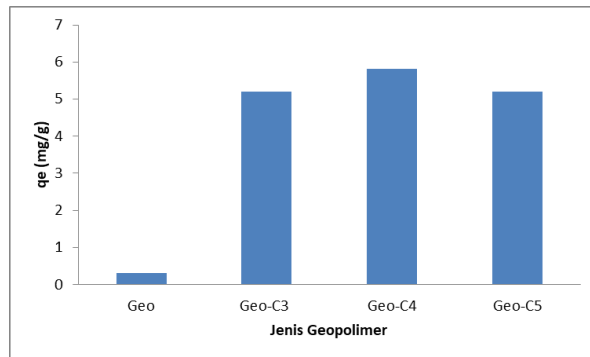
Geopolimer ini diaplikasikan pada *acid orange 7*. Hal ini dikarenakan *acid orange 7* memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dalam perairan. Pada pengaplikasian ini digunakan 0,2 g geopolimer dan 25 ml *acid orange 7* sebesar 50 ppm.

1. Uji Awal

Uji awal ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas adsorpsi geopolimer serta mengetahui geopolimer termodifikasi yang memiliki kapasitas adsorpsi paling baik. Pada uji awal ini dilakukan waktu kontak selama 1 jam dan digojog dengan kecepatan 250 rpm. Hasil adsorpsi uji awal ini ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8.

Tabel 4. 5 Hasil Adsorpsi Uji Awal

Sampel	Abs	qe	Rata-rata (mg/g)
Geo	0,927	0,320	0,311
	0,930	0,302	
Geo-C3	0,124	5,290	5,200
	0,153	5,110	
Geo-C4	0,034	5,846	5,806
	0,047	5,766	
Geo-C5	0,136	5,215	5,206
	0,139	5,197	



Gambar 4. 8 Hasil Adsorpsi Uji Awal

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwasannya penyerapan pada Geo-C4 memiliki nilai q_e yang paling tinggi. Penyerapan pada *acid orange 7* dapat terjadi karena adanya interaksi antara muatan positif pada CTAB dan muatan negatif pada *acid orange 7*.

Selain itu juga dapat terjadi karena adanya interaksi hidrofobik. Interaksi hidrofobik dapat terjadi karena pada CTAB terdapat rantai karbon panjang yang bersifat hidrofobik dan *acid orange 7* yang memiliki senyawa aromatik yang cenderung bersifat hidrofobik. Bagian hidrofobik dari CTAB dan *acid orange 7* inilah yang akan

saling menempel satu sama lain. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya peningkatan penyerapan *acid orange 7* oleh geopolimer termodifikasi walaupun muatan pada zeta potensial bernilai negatif dan luas permukaan pada Geo-C4 menurun.

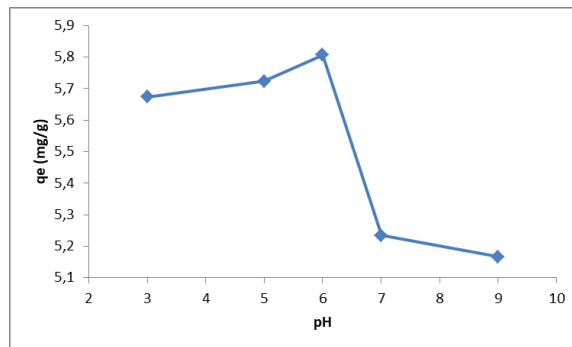
Hasil kapasitas adsorpsi setelah mencapai nilai maksimum, pada Geo-C5 mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena berkurangnya situs aktif akibat terjadinya agregasi partikel CTAB pada permukaan geopolimer (Açışlı et al., 2022). Oleh karena itu dapat menutupi permukaan pori pada geopolimer.

2. Penentuan pH Optimum

Setelah mengetahui kapasitas adsorpsi dan geopolimer termodifikasi terbaik, selanjutnya dilakukan optimasi pH. Optimasi pH ini dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa penyerapan *acid orange 7* yang terbaik. Geopolimer yang digunakan pada optimasi pH ini ialah Geo-C4. Hasil adsorpsi pada optimasi pH ini ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9.

Tabel 4. 6 Pengaruh pH pada Kapasitas Adsorpsi

Optimasi pH	Abs	qe	Rata-rata (mg/g)
pH 3	0,071	5,618	5,673
	0,053	5,729	
pH 5	0,066	5,648	5,723
	0,042	5,797	
pH 6	0,034	5,846	5,806
	0,047	5,766	
pH 7	0,133	5,234	5,234
	0,133	5,234	
pH 9	0,153	5,110	5,166
	0,135	5,221	



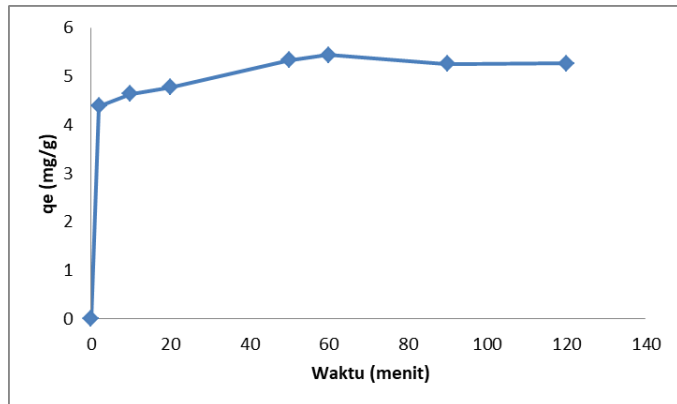
Gambar 4. 9 Pengaruh pH pada Kapasitas Adsorpsi

Berdasarkan Tabel 4.6 dan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwasanya penyerapan pada pH 6 memiliki nilai qe yang paling tinggi. Menurut Travlou *et al.*, (2015) pengaruh pH pada adsorpsi

dapat disebabkan karena adanya gaya elektrostatis pada pH asam. Namun jika dinaikkan gaya elektrostatis bisa melemah dan ion OH^- akan semakin bersaing dalam proses adsorpsi. Oleh karena itu, pada pH 6 *acid orange 7* dapat stabil.

3. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Setelah mengetahui pH optimum, kemudian dilakukan optimasi waktu untuk mengetahui waktu optimum yang dibutuhkan untuk adsorpsi. Pada optimasi waktu digunakan Geo-C4 pada pH 6. Hasil adsorpsi pada optimasi waktu dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.7.



Gambar 4. 10 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi

Tabel 4. 7 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi

Optimasi Waktu (menit)	Abs	qe	Rata-rata (mg/g)
0	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	
2	0,271	4,380	4,383
	0,270	4,386	
10	0,208	4,770	4,637
	0,251	4,504	
20	0,201	4,813	4,773
	0,214	4,733	
50	0,092	5,488	5,330
	0,143	5,172	
60	0,095	5,469	5,441
	0,104	5,413	
90	0,113	5,360	5,249
	0,148	5,141	
120	0,144	5,170	5,265
	0,112	5,364	

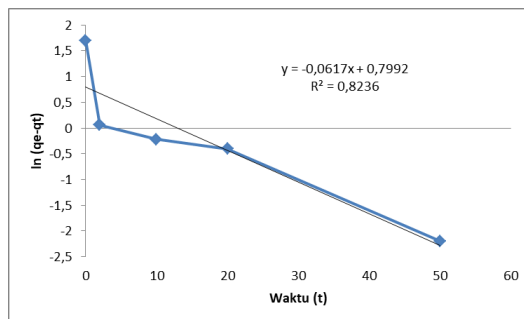
Berdasarkan Gambar 4.10 dan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwasannya penyerapan Geo-C4 pada pH 6 memiliki waktu optimum 60 menit. Dimana pada waktu 90 menit hingga 120 menit nilai qe yang diperoleh relatif konstan. Hal ini dapat disebabkan karena kapasitas adsorpsi telah

mencapai titik optimum, sehingga situs aktif akan semakin berkurang.

E. Kinetika Reaksi

Penentuan laju kecepatan adsorpsi dapat dilakukan melalui studi kinetika reaksi. Data yang digunakan dalam kinetika reaksi yaitu pengaruh waktu terhadap adsorpsi. Data yang telah diperoleh dianalisis untuk menentukan orde reaksi. Pada kinetika reaksi terdapat dua model kinetika yaitu persamaan pseudo orde satu dan persamaan pseudo orde dua.

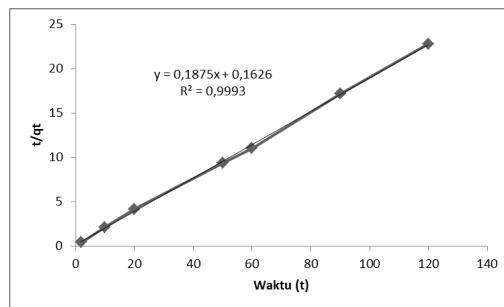
Pada persamaan pseudo orde satu digunakan persamaan 2.5. Kurva linier pada pseudo orde satu ialah perbandingan antara $\ln (q_e - q_t)$ dan t (waktu). Kurva linier pseudo orde satu dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Persamaan Kinetika Reaksi Pseudo Orde Satu

Berdasarkan Gambar 4.11 diperoleh nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0,8236. Selain itu, dari garfik 4.5 dan persamaan 2.5 dapat diperoleh konstanta laju adsorpsi (k) sebesar 0,0617.

Pada persamaan pseudo orde dua digunakan persamaan 2.6. Kurva linier pada persamaan pseudo orde dua ialah perbandingan antara $\frac{t}{q_t}$ terhadap waktu (t). Kurva linier pseudo orde dua dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Persamaan Kinetika Reaksi Pseodu Orde Dua

Berdasarkan Gambar 4.12 diperoleh nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0,9993. Selain itu, dari Grafik 4.6 dan persamaan 2.6 dapat diperoleh nilai konstanta laju adsorpsi (k) sebesar 0,216.

Hasil dari persamaan pseudo orde satu dan pseudo orde dua dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Model Kinetika Adsorpsi

Model Kinetika	R²	k(menit⁻¹)	qe(mg/g)
Pseudo Orde Satu	0,8236	0,0617	2,224
Pseudo Orde Dua	0,9993	0,216	5,333

Berdasarkan Tabel 4.8 diperoleh nilai R² pada pseudo orde dua lebih tinggi daripada pseudo orde satu dengan nilai regresi mendekati 1. Selain itu nilai qe pada pseudo orde dua memiliki nilai yang lebih mendekati nilai eksperimen pada penelitian ini. Oleh karena itu dapat diketahui bahwasannya kinetika adsorpsi pada penelitian ini mengikuti model persamaan pseudo orde dua.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Karakterisasi adsorben geopolimer berdasarkan pengujian XRD menunjukkan terdapat puncak pada $26,59^\circ$ yang menandakan terbentuknya geopolimer. Karakterisasi adsorben geopolimer berdasarkan FTIR menghasilkan bilangan gelombang $977,49\text{ cm}^{-1}$ dan $578,78\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya Si-O-Al. Kemudian pada geopolimer termodifikasi CTAB berdasarkan karakterisasi FTIR menghasilkan bilangan gelombang $2923,30\text{ cm}^{-1}$ hingga $2859,45\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya peregangan simetris dan asimetris dari $-\text{CH}_2$. Selain itu juga menghasilkan bilangan gelombang $1382,6\text{ cm}^{-1}$ hingga $1348,88\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya peregangan C-N. Karakterisasi adsorben geopolimer menggunakan SAA menunjukkan luas permukaan sebesar $5,003\text{ m}^2/\text{g}$ dan pada geopolimer termodifikasi CTAB 4% sebesar $3,678\text{ m}^2/\text{g}$.

2. Adsorpsi geopolimer pada *acid orange 7* 50 ppm dalam 25 mL memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0,311 mg/g dan memiliki daya serap optimum pada modifikasi CTAB 4% pada pH 6 selama 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 5,441 mg/g.
3. Model kinetika adsorpsi yang paling tepat untuk adsorpsi *acid orange 7* menggunakan geopolimer termodifikasi CTAB yaitu pada kinetika adsorpsi pseudo orde dua dengan nilai q_e 5,333 mg/g dan nilai R^2 0,9993.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan variasi konsentrasi dan suhu pada saat adsorpsi *acid orange 7* menggunakan geopolimer termodifikasi. Sehingga dapat mengetahui konsentrasi dan suhu optimum yang diperlukan selama adsorpsi. Adanya konsentrasi optimum dapat ditentukan model isotherm adsorpsi yang sesuai.

Daftar Pustaka

- Abriyani, E., Nuryaman, A., Yunita, D., Firmansyah, I., & Dhaniaty, S. S. (2022). Literatur Riview Analisis Gugus Fungsi Obat Sirup Batuk Dengan Fourier Transform Infrared. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 4(2), 1707–1715.
- Açışlı, O., Acar, I., & Khataee, A. (2022). Preparation of A Surface Modified Fly Ash-Based Geopolymer for Removal of An Anionic Dye : Parameters and Adsorption Mechanism. *Chemosphere*, 295(11), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133870>
- Agrarianda, Y., & Djohor, D. S. (2020). Karakteristik Serpih Formasi Bampo di Lapangan “JRC” Berdasarkan Data XRD dan Geokimia Sebagai Sumberdaya Hidrokarbon Serpih. *Journal of Geoscience Engineering & Energy*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.25105/jogee.v1i01.6689>
- Al-Husseiny, R. A., & Ebrahim, S. E. (2021). Synthesis of Geopolymer for the Removal of Hazardous Waste: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012102>

- Al-Zboon, K., Al-Harashsheh, M. S., & Hani, F. B. (2011). Fly Ash-Based Geopolymer for Pb Removal From Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*, 188(1–3), 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.133>
- Ambarwati, R., & Yulianita. (2022). Formulasi Transfersom Ekstrak Daun Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius* . R) dengan Variasi Konsentrasi Fosfolipid dan Tween 80 Sebagai Pembentuk Vesikel. *Lambung Farmasi*, 3(2), 261–267.
- Apriani, I., Arabia, T., & Sufaradi. (2019). Identifikasi Mineral Tanah dengan Menggunakan Difraksi Sinar-X pada Incepticol Aceh Besar (Identification of Soil Minerals using X-ray Diffraction on Inceptisols of Aceh Besar). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 4(3), 155–163. Retrieved from www.jim.unsyiah.ac.id/JFP
- Arbiyani, E., Aziz, A., Nurunnisa, I., Gilang, M., & Latif, M. Z. (2022). Identifikasi Flavonoid dari Tanaman Dewandaru (*Eugenia Uniflora* L.) dengan Metode Spektrofotometru UV-Vis: Literatur Review Articel. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 21(1), 181–183.
- Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). Analisis

- Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Industri Pupuk. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 2721–4885. Retrieved from <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/jtk>
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost Adsorbents for Heavy Metals Uptake from Contaminated Water : A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(9), 219–243.
- Bae, S., Taylor, R., Kilcoyne, D., Moon, J., & Monteiro, P. J. M. (2017). Effects of Incorporating High-Volume Fly Ash Into Tricalcium Silicate on the Degree of Silicate Polymerization and Aluminum Substitution for Silicon in Calcium Silicate Hydrate. *Materials*, 10(131), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ma10020131>
- Coughlin, M. F., Kinkle, B. K., & Bishop, P. L. (2002). Degradation of Acid Orange 7 in an Aerobic Biofilm. *Chemosphere*, 46(1), 11–19. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00096-0)
- Ekaputri, J. J., & Triwulan. (2011). Geopolymer Concrete Using Fly Ash, Trass, Sidoarjo Mud Based Material. *Journal of Civil Engineering*, 31(2), 57–63.
- Fajar, I. R. F., Fitri, D. R., Fitriyani, N., & Chuanvin, M.

- (2021). Perbandingan Aktivitas Antioksidan Ekstrak dan Nanoekstrak Herba Tespong (*Oenanthe javanica* DC .) dengan Metode DPPH. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 17(1), 1-8.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights Into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(9), 2-10.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Gobel, A. P., Nursanto, E., & Ratminah, W. D. (2018). Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Menetralkan Air Asam Tambang pada Settling Pond Penambangan Banko PT . Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral, Energi Dan Lingkungan*, 2(1), 1-11.
- Gupta, V. K. (2009). Application of Low-Cost Adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313-2342.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Hajjaji, W., Pullar, R. C., Labrincha, J. A., & Rocha, F. (2016). Aqueous Acid Orange 7 Dye Removal by Clay and Red Mud Mixes. *Applied Clay Science*, xxxx(3), 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.016>

- Hamid, E. M. A., Aly, H. ., & Naggar, K. A. . (2024). Synthesis of Nanogeopolymer Adsorbent and its Application and Reusability in the Removal of Methylene Blue from Wastewater Using Response Surface Methodology (RSM). *Scientific Reports*, 14(20631), 1–24. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70284-y>
- Hanum, F. F., Rahayu, A., Sutopo, U. M., & Mufrodi, Z. (2020). Coal Fly Ash Characterization from Cement Industry “ X ” as an Initial Study in Its Utilization. *Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 57–62.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*, 101(12), 467–472.
- Hasri, Sudding, & Amiruddin, A. (2018). Biodegradasi Zat Warna Acid Orange 7 Menggunakan Enzim Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus). *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 47–51.
- Hertianisya, N. H., & Prasetya, N. A. (2023). Fly Ash PLTU Sumber Alam Sekurau Kalimantan Utara sebagai Binder Beton Geopolimer. *Civil Engineering Scientific Journal*, 2(1), 9–20.

<https://doi.org/10.35334/cesj.v2i1.3079>

- Hoai, T. T., Tue, N. T., Dung, L. V, Hai, N. T., & Nhuan, M. T. (2024). Potential of Ammonium Adsorption of Coal Fly Ash- Based Porous Geopolymer Granules. *IOP Conference Series: Earth and Enviromental Scince*, 1383(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1383/1/012013>
- Ibrahim, M., Mastura, W., Ibrahim, W., Mustafa, M., Bakri, A., Nabialek, M., ... Je, B. (2023). Synthesis of Metakaolin Based Alkali Activated Materials as an Adsorbent at Different $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$ Ratios and Exposing Temperatures for Cu^{2+} Removal. *Materials*, 16(1221), 1–22.
- Irawati, H., Hidayat Aprilita, N., & Sugiharto, E. (2018). Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet menggunakan Limbah Kulit Singkong (*Manihor esculenta*). *Berkala MIPA*, 25(1), 18–31.
- Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., Hadisantoso, E. P., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R., & Risdiana, R. (2024). How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and*

Engineering, 4(1), 61–70.
<https://doi.org/10.17509/ajse.v4i1.60748>

Klima, K. M., Koh, C. H., Brouwers, H. J. H., & Yu, Q. (2022). Synergistic effect of surfactants in porous geopolymer: Tailoring pore size and pore connectivity. *Cement and Concrete Composites*, 134(104774), 2–17.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104774>

Kumar, S., Mucsi, G., Kristály, F., & Pekker, P. (2016). Mechanical Activation of Fly Ash and its Influence on Micro and Nano-Structural Behaviour of Resulting Geopolymers. *Advanced Powder Technology*, 11(12), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2016.11.027>

Kurniati, Y., Prastuti, O. P., & Septiani, E. L. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Metil Biru Menggunakan Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(11), 34–38.

Kurniawan, M. W., Purwanto, P., & Sudarno, S. (2013). Strategi Pengolahan Air Limbah Sentra UMKM Batik yang Berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 62–72.

Kusumastuti, E., & Widiarti, N. (2015). Sintesis Geopolimer

Berbusa Berbahan Dasar Abu Layang Batubara dengan Hidrogen Peroksida sebagai Foaming Agent. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 12(2), 119–128.

López, F. J., Sugita, S., Tagaya, M., & Kobayashi, T. (2014). Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2(7), 16–27.

Lowry, G. V., Hill, R. J., Harper, S., Rawle, A. F., Hendren, C. O., Klaessig, F., ... Rumble, J. (2016). Guidance to Improve the Scientific Value of Zeta-Potential Measurements in NanoEHS. *Environmental Science: Nano*, 3(5), 953–965.
<https://doi.org/10.1039/c6en00136j>

Maleki, A., Hajizadeh, Z., Sharifi, V., & Emdadi, Z. (2019). A Green, Porous and Eco-friendly Magnetic Geopolymer Adsorbent for Heavy Metals Removal from Aqueous Solutions. *Journal of Cleaner Production*, 215(1), 1233–1245.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.084>

Maryam, S., & Hidayanti, N. (2023). Identifikasi Gugus Fungsi Limbah Minyak Trafo yang Digunakan sebagai

- Minyak Obat Luka Menggunakan FTIR. *Makassar Pharmaceutical Science Journal*, 1(2), 2023–2115.
Retrieved from
<https://journal.farmasi.umi.ac.id/index.php/mpsj>
- Mbiliyora, C. (2024). Analisis Karakteristik Mineral Pada Pasir Besi dengan Metode X-Ray Diffraction (XRD) di Pantai Nangaba Kecamatan Ende Flores. *Jurnal Fisika*, 9(1), 9–12.
- Mostafa, A. G., Abd, A. I., Hamid, E., & Akl, M. A. (2023). Surfactant - Supported Organoclay for Removal of Anionic Food Dyes in Batch and Column Modes : Adsorption Characteristics and Mechanism Study. *Applied Water Science*, 13(8), 1–24.
<https://doi.org/10.1007/s13201-023-01959-6>
- Mužek, M. N., Svilović, S., & Zelić, J. (2014). Fly Ash-Based Geopolymeric Adsorbent For Copper Ion Removal from Wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 52(9), 1–8.
<https://doi.org/10.1080/19443994.2013.792015>
- Nurfitria, N., & Febriyantiningrum, K. (2023). Studi Pemanfaatan Limbah Fly Ash Batubara Berdasarkan Kajian Parameter Kimia. *Biology Natural Resource*,

2(1), 43–47.

Osterrieth, J. W. M., Rampersad, J., Madden, D., Rampal, N., Skoric, L., Connolly, B., ... Fairen-Jimenez, D. (2022). How Reproducible are Surface Areas Calculated from the BET Equation. *Advanced Materials*, 34(27), 1–12. <https://doi.org/10.1002/adma.202201502>

Perez-Urquiza, M., Prat, M. ., & Beltran, J. . (2000). Determination of Sulphonated Dyes in Water by Ion-Interaction High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 871(2), 227–234.

Pramujo, A. . (2020). Hidrogen Peroksida dan Natrium Hipoklorit: Dampak Penggunaannya Sebagai Disinfektan di Museum. *Researchgate*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13846.78405>

Pranoto, P., Martini, T., & Rachmawati, D. A. (2018). Karakterisasi dan Uji Efektivitas Allophane-Like untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 202. <https://doi.org/10.20961/alchemy.14.2.18538.202-218>

Purbasari, A., Ariyanti, D., & Fitriani, E. (2023). Adsorption

of anionic and cationic dyes from aqueous solutions on fly ash-based porous geopolymer. *Global Nest Journal*, 25(3), 146–152.
<https://doi.org/10.30955/gnj.004363>

Purbasari, Aprilina, Ariyanti, D., & Fitriani, E. (2023). Adsorption of Methyl Orange Dye by Modified Fly Ash-Based Geopolymer – Characterization, Performance, Kinetics and Isotherm Studies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 90–98.
<https://doi.org/10.12911/22998993/157541>

Raharjo, T. H., Ismiyati, & Jaenudin, A. (2023). Analisis Sektor Unggulan Komparatif dan Kompetitif di Kabupaten Cilacap. *Permana: Jurnal Perpajakan, Manajemen, Dan Akuntansi*, 15(1), 19–35.
<https://doi.org/10.24905/permana.v15i1.265>

Ramadhani, R. A., Noval, & Darsono, P. V. (2024). Karakterisasi Self Nano Emulsifying Drug Delivery System (SNEDDS) Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dengan Variasi Konsentrasi Virgin Coconut Oil (VCO). *Jurnal Surya Medika*, 10(3), 185–191.

Revathi, T., Jeyalakshmi, R., Rajamane, N. P., & Sivasakthi,

- M. (2017). Evaluation of the Role of Cetyltrimethylammoniumbromide (CTAB) and Acetylenicglycol (AG) Admixture on Fly Ash Based Geopolymer. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(2), 783–792. <https://doi.org/10.13005/ojc/330225>
- Safitri, O., Alrasyid, H., & Udyani, K. (2020). Pembuatan Silika Termodifikasi dari Sekam Padi sebagai Adsorben Logam Berat pada Limbah Cair (Review). *Jurnal Envirotek*, 12(2), 19–24.
- Salain, I. M. A. K., Wiryasa, M. N. A., & Pamungkas, I. N. M. M. A. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1), 105–114.
- Sameut, I., Hadj, M., Suleiman, R. K., & Saleh, T. A. (2023). Mechanistic Insights Into Acid Orange 7 Azo Dye (AO7) Reduction Using DFT Calculations. *Polyhedron*, 245(8), 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2023.116648>
- Sarazin, J., Davy, C. A., Bourbigot, S., & Lambertin, D. (2021). Flame resistance of geopolymer foam coatings for the fire protection of steel. *Composites Part B*, 222(2), 2–15.

<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109045>

- Sari, E. K., Putri, Y. E., Lindawati, L., Desromi, F., & Nurmeyliandari, R. (2023). Potensi dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil Pembakaran Batu Bara PT. Bakti Nugraha Yuda Energy terhadap Kuat Tekan Paving Block. *Deformasi*, 8(1), 23–30.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Setyawan, W. E., Haq, A., Sudiarjo, T., & Pramandira, A. (2022). *Melihat ulang dampak PLTU di tiga wilayah : PLTU Paiton, PLTU Pacitan dan PLTU Cilacap (WALHI)*. Jawa Tengah.
- Setyowati, V. A., & Widodo, E. W. R. (2017). Analisis Kekuatan Tarik dan Karakteristik XRD pada Material Stainless Steel dengan Kadar Karbon yang Berbeda. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*, 2(10), 57–62.
- Singhal, A., Gangwar, B. P., & Gayathry, J. M. (2017). CTAB Modified Large Surface Area Nanoporous Geopolymer with High Adsorption Capacity for Copper Ion

Removal. *Applied Clay Science*, 150(4), 106–114.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.09.013>

Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Rabat, N. E., Zulfiqar, M., Man, Z., & Low, A. (2019). Fly Ash Based Geopolymer for the Adsorption of Anionic Surfactant from Aqueous Solution. *Journal of Cleaner Production*, 229(4), 232–243.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.384>

Sriatun, Taslimah, & Suyati, L. (2018). Synthesis of Zeolite from Sugarcane Bagasse Ash Using Cetyltrimethylammonium Bromide as Structure Directing Agent. *Indones. J. Chem*, 18(1), 159–165.

Syuhada, N. (2023). Fabrikasi dan Uji Luas Permukaan Material Microsphere-Nanorod Titanium Dioksida. *Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*, 5(1), 146–155.
<https://doi.org/10.20414/spin.v5i1.7157>

Syukur, M., & Kusumawati, E. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Foamy Geopolymer Berbahan Dasar Abu Layang Batubara. *Indonesian Jurnal of Chemical Science*, 7(1), 83–90.

Tahir, M. F. M., Abdullah, M. M. A. B., Rahim, S. Z. A., Hasan, M. R. M., Sandu, A. V., Vizureanu, P., ... Kadir, A. A.

- (2022). Mechanical and Durability Analysis of Fly Ash Based Geopolymer with Various Compositions for Rigid Pavement Applications. *Materials*, 15(5), 1–18.
- Taihuttu, B., Kayadoe, V., & Mariwy, A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Ion Fe (III) Menggunakan Limbah Ampas Sagu. *Jurnal Pendidikan Kimia Molluca (MJOC)*, 9(1), 9–17.
- Tan, T. H., Mo, K. H., Ling, T. C., & Lai, S. H. (2020). Current development of geopolymer as alternative adsorbent for heavy metal removal. *Environmental Technology and Innovation*, 18(2), 1–22.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100684>
- Tando, E. (2019). Review: Pemanfaatan Teknologi Greenhouse dan Hidroponik sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim dalam Budidaya Tanaman Hortikultura, 19(1), 91–102.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of Gases , with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069.

<https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>

Travlou, N. A., Kyzas, G. Z., Lazaridis, N. K., & Deliyanni, E. A. (2015). Functionalization of Graphite Oxide with Magnetic Chitosan for the Preparation of a Nanocomposite Dye Adsorbent. *Langmuir*, 29(1), 1657–1668.

Tsimas, S., & Moutsatsou-Tsima, A. (2005). High-Calcium Fly Ash as the Fourth Constituent in Concrete: Problems, Solutions and Perspectives. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.012>

Udaibah, W. (2020). Zeolite based Geopolymer from Biomass : a Sustainable Adsorbent for Water Softener Zeolite based Geopolymer from Adsorbent for Water Softener Biomass : a. *Journal of Physics*, 1(2), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1539/1/012004>

Utami, S. W. (2018). Karakteristik Kimiawi Fly Ash Batu Bara Dan Potensi Pemanfaatannya Sebagai Bahan Pupuk Organik. *Agrointek*, 12(2), 108. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v12i2.4048>

Xu, J., Li, M., Zhao, D., Zhong, G., Sun, Y., Hu, X., ... Sun, X.

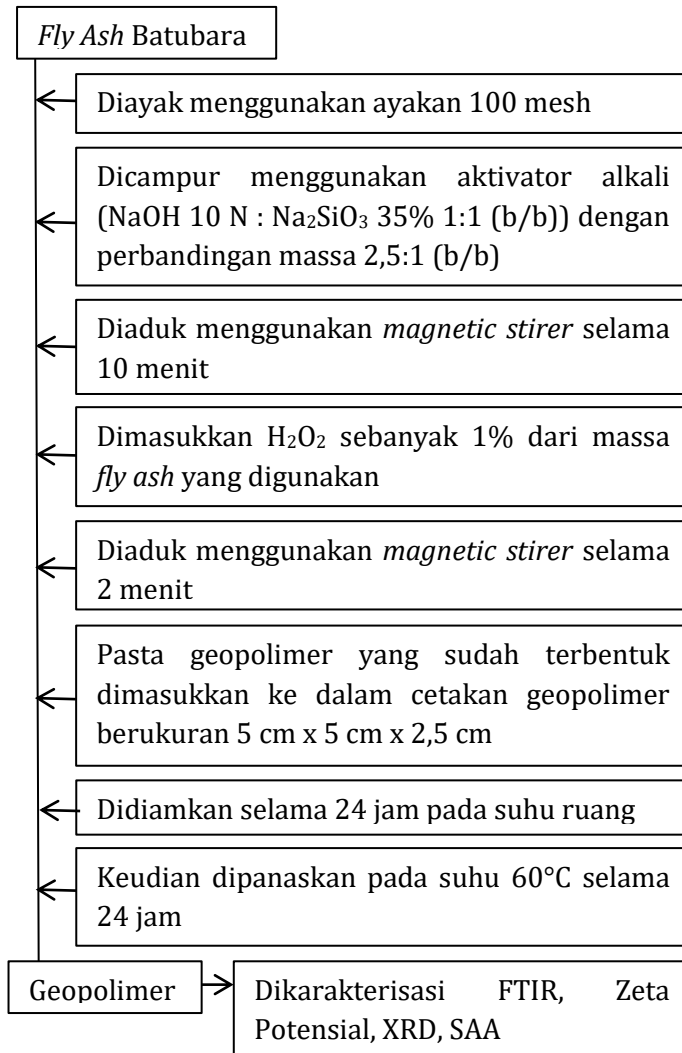
(2022). Research and Application Progress of Geopolymers in Adsorption: A Review. *Nanomaterials*, 12(17), 1–23. <https://doi.org/10.3390/nano12173002>

Zafar, S., Bukhari, D. A., & Rehman, A. (2022). Azo dyes degradation by microorganisms – An efficient and sustainable approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103437>

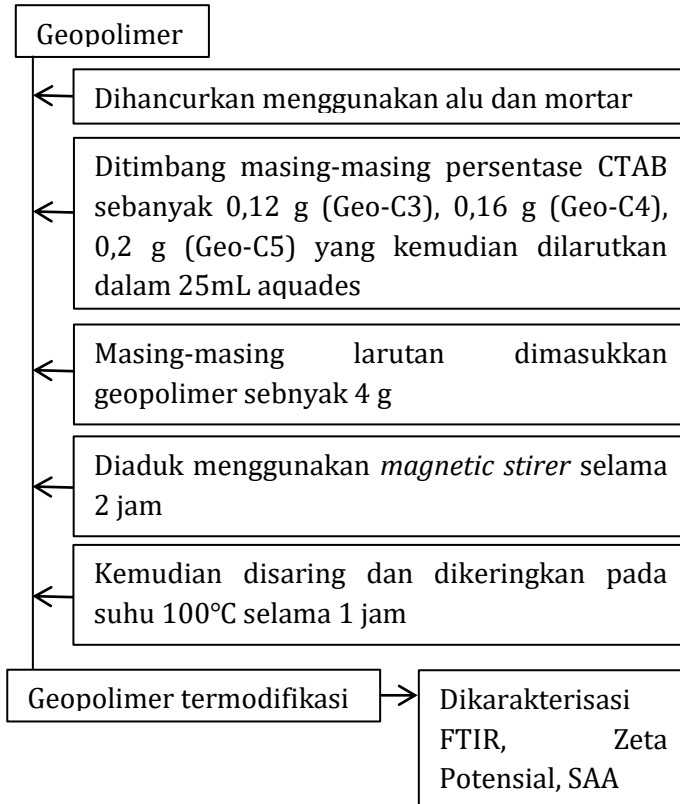
Lampiran

Lampiran 1 Diagram Alir Penelitian

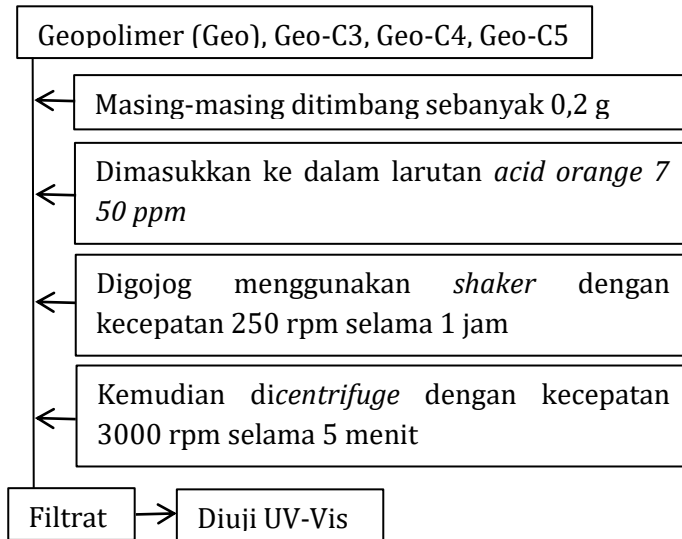
a. Sintesis geopolimer



- b. Modifikasi Geopolimer Menggunakan CTAB 3% (Geo-C3), 4% (Geo-C4), dan 5% (Geo-C5)

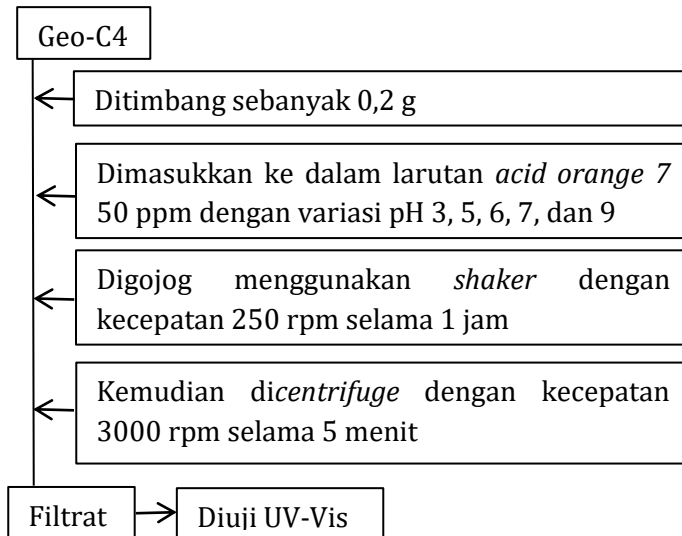


c. Uji Awal

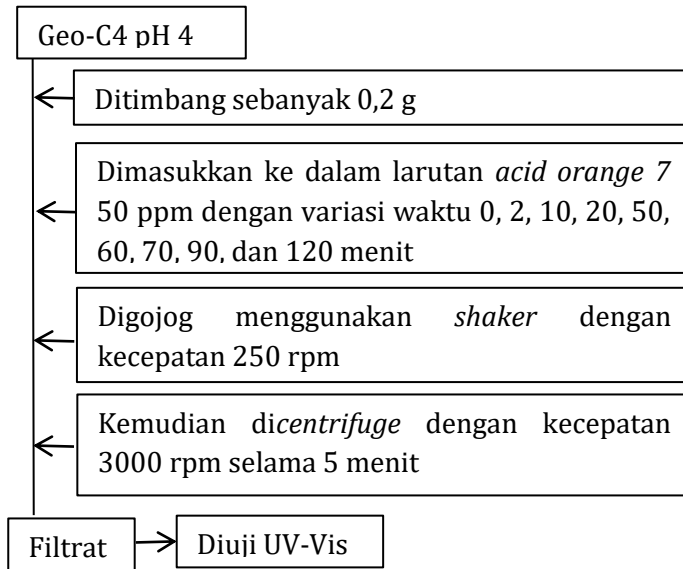


d. Optimasi Kondisi

1. pH

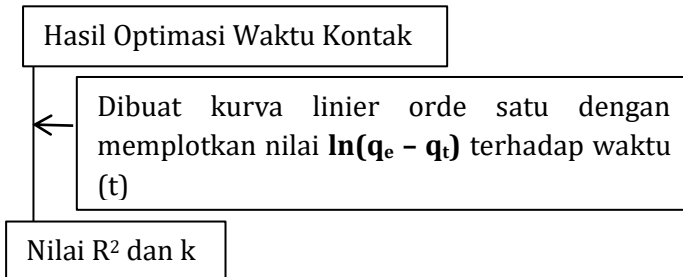


2. Waktu Kontak



e. Penentuan Model Kinetika Reaksi

1. Pseudo Orde 1



2. Pseudo Orde 2

Hasil Optimasi Waktu Kontak



Dibuat kurva linier orde satu dengan memplotkan nilai t/q_t terhadap waktu (t)

Nilai R^2 dan k

Lampiran 2 Data Hasil Percobaan

a. Data Uji Awal

Tabel L.1 Data Uji Awal

Jenis	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Rata- rata
Geo	0,2	25	50	47,436	0,320	0,311
	0,2	25	50	47,584	0,302	
Geo- C3	0,2	25	50	7,683	5,290	5,200
	0,2	25	50	9,119	5,110	
Geo- C4	0,2	25	50	3,228	5,846	5,806
	0,2	25	50	3,871	5,766	
Geo- C5	0,2	25	50	8,277	5,215	5,206
	0,2	25	50	8,426	5,197	

b. Data Optimasi pH

Tabel L.2 Data Optimasi pH

pH	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Rata- rata
3	0,2	25	50	5,059	5,618	5,673
	0,2	25	50	4,168	5,729	
5	0,2	25	50	4,812	5,648	5,723
	0,2	25	50	3,624	5,797	
6	0,2	25	50	3,228	5,846	5,806
	0,2	25	50	3,871	5,766	
7	0,2	25	50	8,129	5,234	5,234
	0,2	25	50	8,129	5,234	
9	0,2	25	50	9,119	5,110	5,166
	0,2	25	50	8,228	5,221	

c. Data Optimasi Waktu Kontak

Tabel L.3 Data Optimasi Waktu Kontak

Waktu (s)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Rata- rata
0	0,2	25	50	50,000	0,000	0,000
	0,2	25	50	50,000	0,000	
2	0,2	25	50	14,960	4,380	4,383
	0,2	25	50	14,911	4,386	
10	0,2	25	50	11,842	4,770	4,637
	0,2	25	50	13,970	4,504	
20	0,2	25	50	11,495	4,813	4,773
	0,2	25	50	12,139	4,733	
50	0,2	25	50	6,099	5,488	5,330
	0,2	25	50	8,624	5,172	
60	0,2	25	50	6,247	5,469	5,441
	0,2	25	50	6,693	5,413	
90	0,2	25	50	7,139	5,360	5,249
	0,2	25	50	8,871	5,141	
120	0,2	25	50	8,673	5,170	5,265
	0,2	25	50	7,089	5,364	

Lampiran 3 Perhitungan Analisis Data

a. Perhitungan pembuatan alkali aktivator

- 1) NaOH 10N dalam 50 mL

$$N = \frac{\text{massa NaOH}}{\frac{mr}{ev} \times V}$$

$$10 \text{ N} = \frac{\text{massa NaOH}}{\frac{40 \frac{g}{mol}}{1} \times 0,05 \text{ L}}$$

$$30 \text{ g} = \text{massa NaOH}$$

- 2) Na₂SiO₃ 35% dalam 10 g

$$\% = \left(\frac{\text{massa zat terlarut}}{\text{massa total larutan}} \right) \times 100$$

$$35 \% = \left(\frac{\text{massa zat terlarut}}{10 \text{ g}} \right) \times 100$$

$$3,5 \text{ g} = \text{massa zat terlarut}$$

- 3) Perbandingan aktivator alkali

$$\text{NaOH 10 N} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 \text{ 35\% (b:b)}$$

$$1 : 1$$

$$10 \text{ g} : 10 \text{ g}$$

b. Sintesis geopolimer

- 1) *Fly ash* : Alkali aktivator (b:b)

$$2,5 : 1$$

$$50 \text{ g} : 20 \text{ g}$$

- 2) Penambahan H₂O₂ 30% sebanyak 1% dari massa *fly ash*

$$= 1\% \times 50 \text{ g}$$

$$= 0,5 \text{ g}$$

c. Modifikasi geopolimer

1) CTAB 3%

$$\text{Massa CTAB} = \text{massa fly ash} \times 3\%$$

$$0,12 \text{ g} = 4 \text{ g} \times 3\%$$

2) CTAB 4%

$$\text{Massa CTAB} = \text{massa fly ash} \times 4\%$$

$$0,16 \text{ g} = 4 \text{ g} \times 4\%$$

3) CTAB 5%

$$\text{Massa CTAB} = \text{massa fly ash} \times 5\%$$

$$0,2 \text{ g} = 4 \text{ g} \times 5\%$$

d. *Surface Area Analyzer*

1) Geopolimer

$$y = 697,792x - 1,70057$$

$$\text{slope} = 697,792$$

$$\text{intersep} = -1,70057$$

$$R^2 = 0,997454$$

$$W_m = \frac{1}{\text{slope} + \text{intersep}}$$

$$W_m = \frac{1}{697,792 - 1,70057}$$

$$W_m = 0,001437 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$S_t = \frac{W_m \cdot N \cdot Acs}{M}$$

$$S_t = \frac{0,001437 \cdot 6,203 \times 10^{23} \cdot 16,2 \times 10^{-20}}{28,0134}$$

$$S_t = 5,153 \text{ m}^2/\text{g}$$

2) Geopolimer termodifikasi CTAB 4%

$$y = 933,519x + 13,2337$$

$$\text{slope} = 933,519$$

$$\text{intersep} = 13,2337$$

$$R^2 = 0,997945$$

$$W_m = \frac{1}{\text{slope} + \text{intersep}}$$

$$W_m = \frac{1}{933,519 + 13,2337}$$

$$W_m = 0,001056 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$S_t = \frac{W_m \cdot N \cdot Acs}{M}$$

$$S_t = \frac{0,001056 \cdot 6,203 \times 10^{23} \cdot 16,2 \times 10^{-20}}{28,0134}$$

$$S_t = 3,789 \text{ m}^2/\text{g}$$

- e. Pembuatan larutan induk *acid orange 7* 1000 ppm dalam 1L

$$1000 \text{ ppm} = \left(\frac{\text{massa zat terlarut (mg)}}{\text{volume larutan (L)}} \right)$$

$$1000 \text{ ppm} = \left(\frac{\text{massa zat terlarut (mg)}}{1 \text{ L}} \right)$$

$$1000 \text{ mg} = \text{massa zat terlarut}$$

$$1 \text{ g} = \text{massa zat terlarut}$$

- f. Pengenceran *acid orange 7* 50 ppm dalam 1L

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

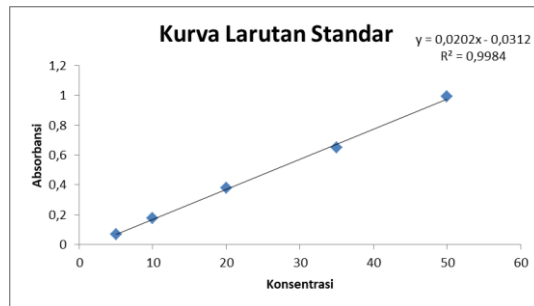
$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{50 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

g. Kurva standar *acid orange 7*Tabel L.4 Kurva Standar *Acid Orange 7*

Konsentrasi larutan standar (mg/L)	Nilai Adsorbansi
5	0,069
10	0,176
20	0,378
35	0,649
50	0,991



Gambar L.1 Kurva Larutan Standar

h. Perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e)

Rumus:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times v$$

Keterangan:

m = massa adsorben yang digunakan (gram)

v = volume adsorbat yang digunakan (L)

 C_0 = konsentrasi adsorbat mula-mula (ppm) C_e = konsentrasi adsorbat setelah diserap (ppm)

1) Kapasitas adsorpsi uji awal

a) Geo

$$q_e = \frac{(50-47,436)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 0,320$$

$$q_e = \frac{(50-47,584)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 0,302$$

$$\text{rata - rata } q_e = 0,311$$

b) Geo-C3

$$q_e = \frac{(50-7,683)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,290$$

$$q_e = \frac{(50-9,119)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,110$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,200$$

c) Geo-C4

$$q_e = \frac{(50-3,228)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,846 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(5-3,871)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,766 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,806 \text{ mg/g}$$

d) Geo-C5

$$q_e = \frac{(50-8,277)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,215 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-8,428)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,197 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,206 \text{ mg/g}$$

2) Kapasitas adsorpsi optimasi pH

a) pH 3

$$q_e = \frac{(50-5,059)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,618 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-4,168)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,729 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,673 \text{ mg/g}$$

b) pH 5

$$q_e = \frac{(50-4,812)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,648 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-3,624)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,797 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,723 \text{ mg/g}$$

c) pH 6

$$q_e = \frac{(50-3,228)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,846 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-3,871)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,766 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,806 \text{ mg/g}$$

d) pH 7

$$q_e = \frac{(50-8,129)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,234 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-8,129)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,234 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata -rata } q_e = 5,234 \text{ mg/g}$$

e) pH 9

$$q_e = \frac{(50-9,119)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,110 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(508,228)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,221 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,166 \text{ mg/g}$$

3) Kapasitas adsorpsi optimasi watu

a) Waktu kontak 0 menit

$$q_e = \frac{(50-50)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 0 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-50)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 0 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 0 \text{ mg/g}$$

b) Waktu kontak 2 menit

$$q_e = \frac{(50-14,960)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,380 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-14,911)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,386 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 4,383 \text{ mg/g}$$

c) Waktu kontak 10 menit

$$q_e = \frac{(50-11,842)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,770 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-13,970)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,504 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata -rata } q_e = 4,637 \text{ mg/g}$$

d) Waktu kontak 20 menit

$$q_e = \frac{(50-11,495)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,813 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-12,139)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 4,733 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata -rata } q_e = 4,773 \text{ mg/g}$$

e) Waktu kontak 50 menit

$$q_e = \frac{(50-6,099)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,488 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-8,624)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,172 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,330 \text{ mg/g}$$

f) Waktu kontak 60 menit

$$q_e = \frac{(50-6,247)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,469 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-6,693)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,413 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,441 \text{ mg/g}$$

g) Waktu kontak 90 menit

$$q_e = \frac{(50-7,139)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,360 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-8,871)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,141 \text{ mg/g}$$

$$\text{rata - rata } q_e = 5,249 \text{ mg/g}$$

h) Waktu kontak 120 menit

$$q_e = \frac{(50-8,673)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,170 \text{ mg/g}$$

$$q_e = \frac{(50-7,089)ppm}{0,2 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$q_e = 5,364 \text{ mg/g}$$

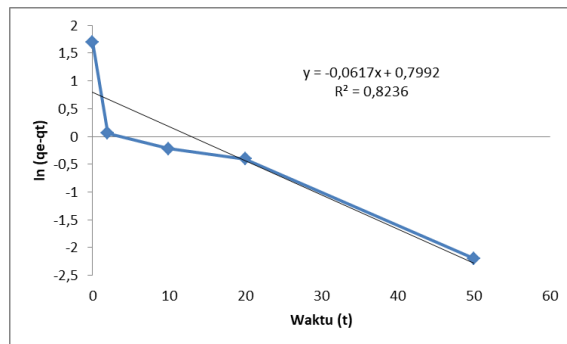
$$\text{rata - rata } q_e = 5,265 \text{ mg/g}$$

- i. Perhitungan konstanta kesetimbangan dan kapasitas adsorpsi maksimum

1) Pseudo Orde 1

Tabel L.5 Data Penentuan Pseudo Orde Satu

t (menit)	q_t (mg/g)	q_e (mg/g)	$\ln(q_t - q_e)$
0	0	5,441	1,694
2	4,383	5,441	0,056
10	4,637	5,441	-0,218
20	4,773	5,441	-0,403
50	5,330	5,441	-2,195
60	5,441	5,441	0
90	5,249	5,441	-1,651
120	5,265	5,441	-1,735



Gambar L.2 Kurva Pseudo Orde Satu

$$y = a + bx$$

$$y = 0,7992 - 0,0617x$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

$$k_1 = 0,0617$$

$$\ln q_e = 0,7992$$

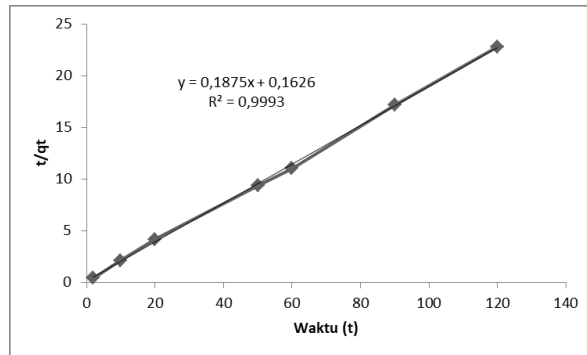
$$q_e = \exp 0,7992$$

$$q_e = 2,224$$

2) Pseudo Orde 2

Tabel L.6 Data Penentuan Pseudo Orde Dua

t (menit)	q_t (mg/g)	q_e (mg/g)	t/q_t
0	0	5,441	0
2	4,383	5,441	0,456
10	4,637	5,441	2,157
20	4,773	5,441	4,190
50	5,330	5,441	9,381
60	5,441	5,441	11,027
90	5,249	5,441	17,145
120	5,265	5,441	22,793



Gambar L.3 Kurva Pseudo Orde Dua

$$y = a + bx$$

$$y = 0,1626 + 0,1875x$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

$$\frac{1}{q_e} t = 0,1875x$$

$$\frac{1}{q_e} = 0,1875$$

$$q_e = 5,333$$

$$0,1626 = \frac{1}{k_2 q_e^2}$$

$$k_2 = 0,216$$



Fly Ash Batubara



Geo



Geo-C3



Geo-C4



Geo-C5



Adsorpsi AO 7
menggunakan Geo



Adsorpsi AO 7
menggunakan Geo-C3



Adsorpsi AO 7
menggunakan Geo-C4



Adsorpsi AO 7
menggunakan Geo-C5



Adsorpsi AO 7 optimasi
pH 3



Adsorpsi AO 7 optimasi
pH 5



Adsorpsi AO 7 optimasi
pH 7



Adsorpsi AO 7 optimasi
pH 9



Adsorpsi AO 7 optimasi
waktu 2 menit



Adsorpsi AO 7 optimasi
waktu 10 menit



Adsorpsi AO 7 optimasi
waktu 20 menit



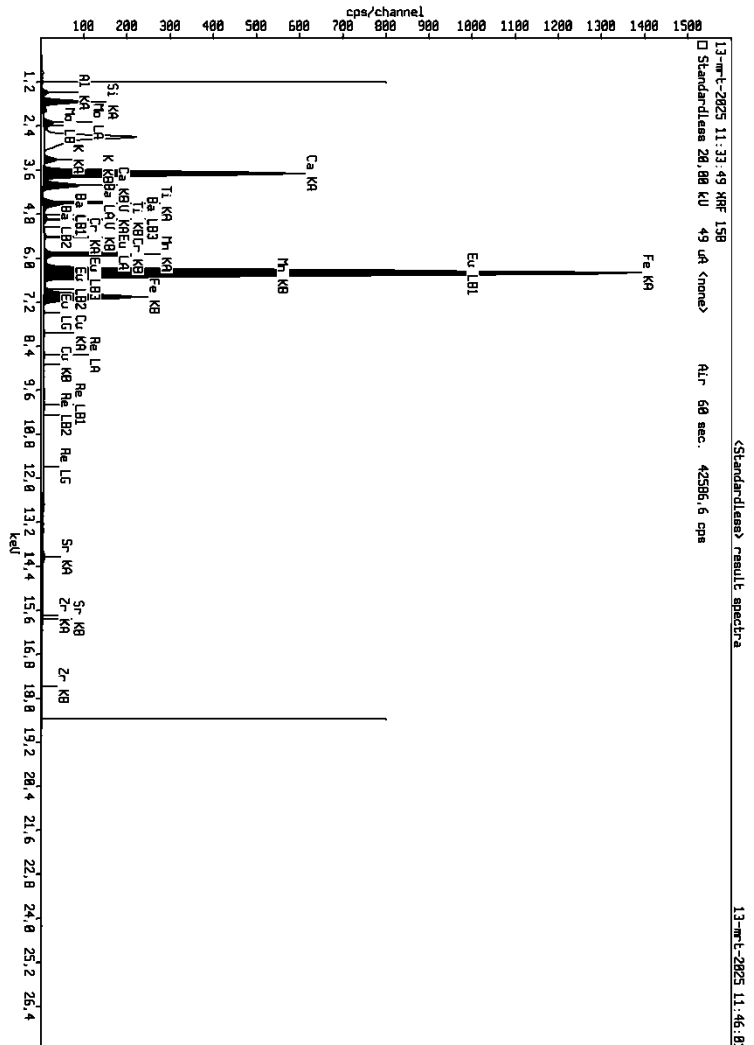
Adsorpsi AO 7 optimasi
waktu 50 menit



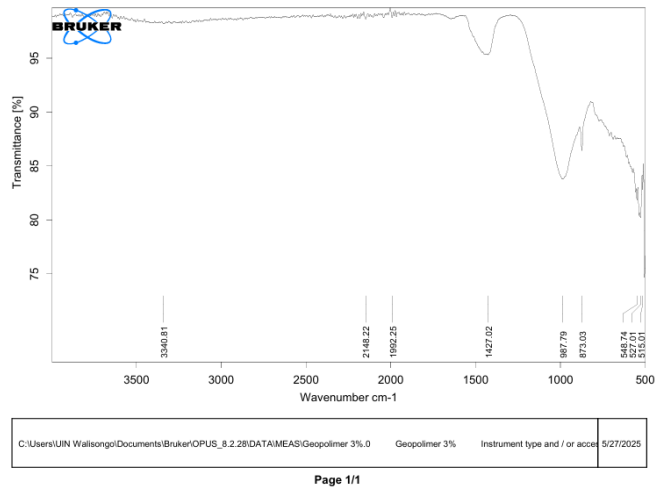
Adsorpsi AO 7 optimasi
waktu 90 menit

Lampiran 5 Hasil Karakterisasi

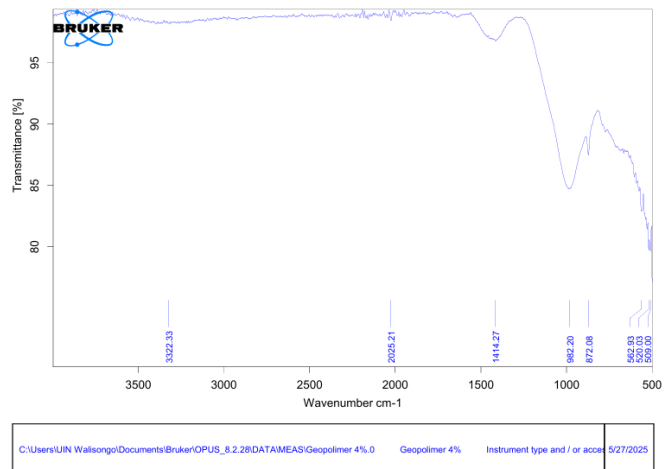
a. XRF *fly ash*



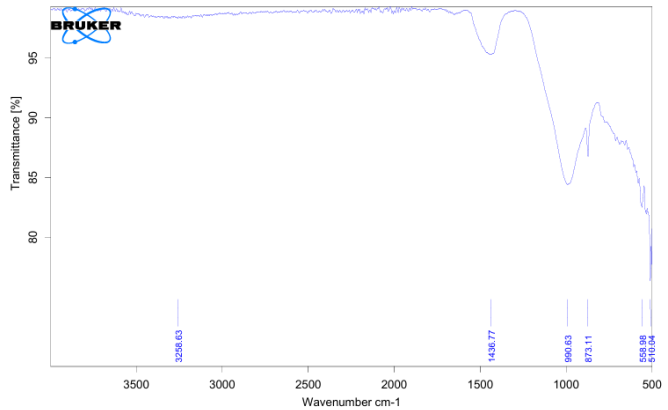
2) Geopolimer termodifikasi CTAB 3%



3) Geopolimer termodifikasi CTAB 4%



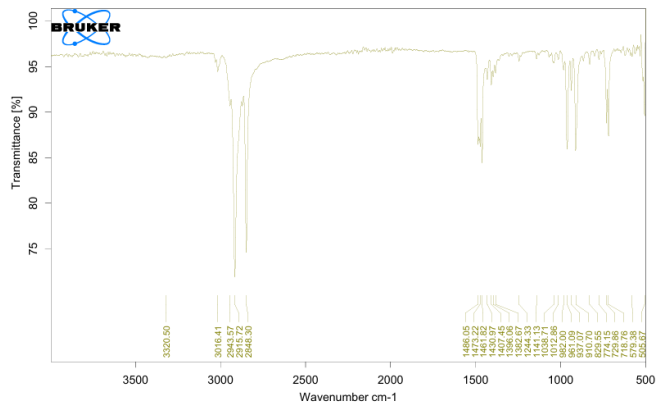
4) Geopolimer termodifikasi CTAB 5%



C:\Users\IUN Walsongo\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Geopolimer 5%_0 Geopolimer 5% Instrument type and / or acces 5/27/2025

Page 1/1

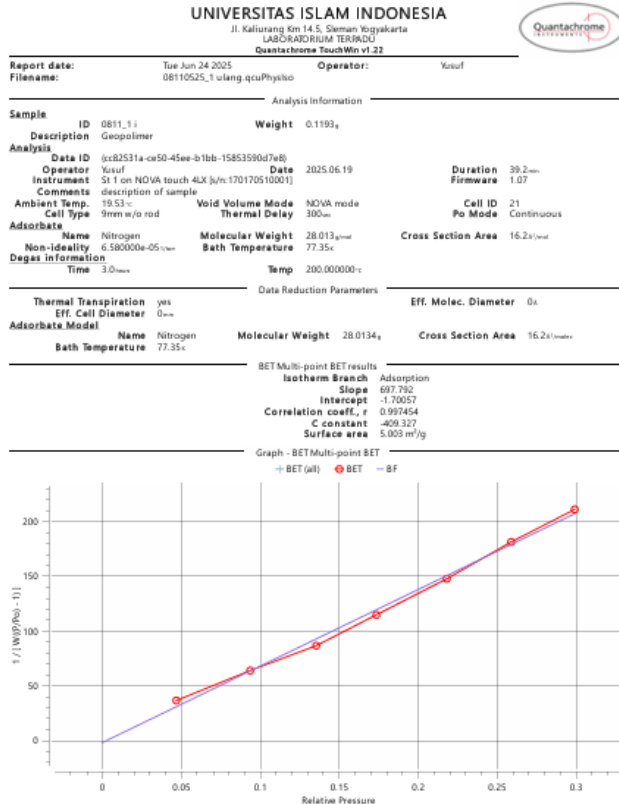
5) CTAB



C:\Users\IUN Walsongo\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\CTAB.2 CTAB Instrument type and / or accessory 6/26/2025

c. SAA

1) Geopolimer



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta

LABORATORIUM TERPADU

Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Tue Jun 24 2025		Operator: Yusuf	
Filename: 08110525_1 ulang.qcuPhysIso			
Analysis Information			
Sample		ID	0811_1.i
Description		Geopolymer	
Analysis		Weight	0.1193g
Data ID		{cc82531a-ce50-45ee-b1bb-15853590d7e8}	
Operator		Yusuf	Date 2025.06.19
Instrument		St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Duration 39.2min
Comments		description of sample	Firmware 1.07
Ambient Temp.		19.53°C	Cell ID 21
Non-ideality		9mm w/o rod	Po Mode Continuous
Adsorbate		Nitrogen	
Degas information		6.580000e-05 1/100	
Time		3.0hours	
Thermal Transpiration		yes	
Eff. Cell Diameter		0mm	
Adsorbate Model			
Name		Nitrogen	
Bath Temperature		77.35K	
Molecular Weight		28.0134g/mol	
Cross Section Area		16.2A/mmol	
Temp		200.000000°C	
Data Reduction Parameters			
Eff. Molec. Diameter		0A	
BET Multi-point BET results			
Isotherm Branch		Adsorption	
Slope		697.792	
Intercept		-1.70057	
Correlation coeff., r		0.997454	
C constant		-409.327	
Surface area		5.003 m ² /g	
Table - BET Multi-point BET			
Relative Pressure		Volume Adsorbed	1 / [W((P/Po) - 1)]
		@STP	
		cc/g	
0.0465563		1.05969	36.8685
0.0934768		1.28605	64.1532
0.135514		1.44865	86.5791
0.173398		1.45653	115.2333
0.218164		1.50986	147.8702
0.259005		1.54306	181.2426
0.299098		1.61746	211.0929

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta

LABORATORIUM TERPADU

Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Tue Jun 24 2025		Operator: Yusuf	
Filename: 08110525_1 ulang.qcuPhysIso			
Analysis Information			
Sample	ID 0811_1.i	Weight 0.1193g	
Description	Geopolymer		
Analysis			
Data ID	{cc82531a-ce50-45ee-b1bb-15853590d7e8}	Date 2025.06.19	Duration 39.2min
Operator	Yusuf	Firmware 1.07	
Instrument	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.53°C	Void Volume Mode NOVA mode	Cell ID 21
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay 300sec	Continuous
Adsorbate	Nitrogen	Molecular Weight 28.0134g/mol	Cross Section Area 16.2Å²/mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/100	Bath Temperature 77.35K	
Degas information			
Time	3.0hours	Temp 200.000000°C	
		Data Reduction Parameters	
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0Å
Eff. Cell Diameter	0mm		
Relative Pressure, P/Po		Volume Adsorbed	
		@STP	
		cc/g	
0.0465563		1.05969	
0.0934768		1.28605	
0.135514		1.44865	
0.173398		1.45653	
0.218164		1.50986	
0.259005		1.54306	
0.299098		1.61746	

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

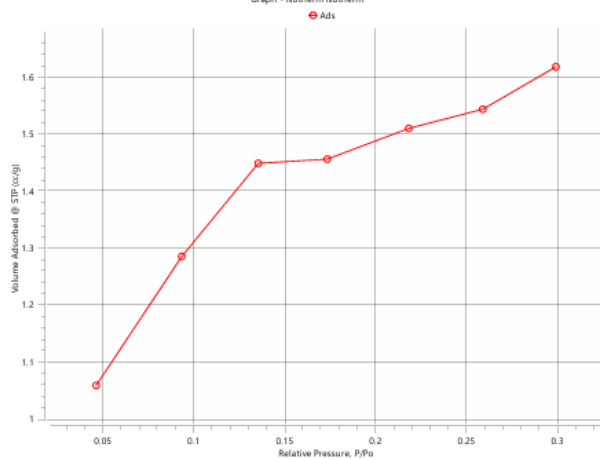
Jl. Kalurung Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERBUKA
Quantachrome TechWin v1.22



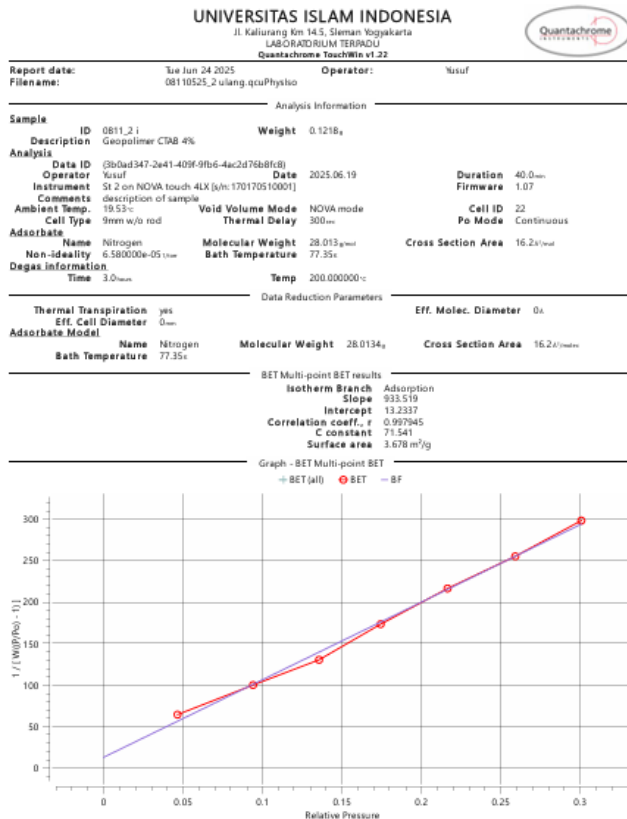
Report date: Tue Jun 24 2025 Operator: Yusuf
Filename: 08110523_1 ulang.qcu/Physiso

Analysis Information			
Sample ID	0811_1	Weight	0.1193 g
Description	Geopolimer		
Analysis Data ID	0c82531a-c650-45ee-b1bb-15853590d740	Date	2025.06.19
Operator	Yusuf	Duration	39.2 min
Instrument	St 1 on NOVA touch 4LX [u/h:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.53 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay	300 sec
Adsorbate	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol
Non-ideality	6.580000e-05 (1 bar)	Bath Temperature	77.35 °C
Degas information		Cross Section Area	16.20 (mm²)
Time	3.0 min	Temp	200.000000 °C
Thermal Transpiration	yes	Data Reduction Parameters	
Eff. Cell Diameter	0 mm	Eff. Molec. Diameter	0 Å

Graph - Isotherm Isotherm



2) Geopolimer termodifikasi CTAB 4%



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Tue Jun 24 2025		Operator: Yusuf	
Filename: 08110525_2 ulang.qcuPhysiso			
Analysis Information			
Sample ID	0811_2 i	Weight	0.1218 _g
Description	Geopolymer CTAB 4%		
Analysis			
Data ID	(3b0ad347-2e41-409f-9fb6-4ac2d76b8f8)	Date	2025.06.19
Operator	Yusuf	Duration	40.0 _{min}
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.53 _{°C}	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay	300 _{sec}
Cell ID		Po Mode	Continuous
Adsorbate	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{gmol}
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35 _K
Non-ideality	6.580000e-05 _{1/scr}	Cross Section Area	16.2A _{1/mole}
Degas information			
Time	3.0 _{hour}	Temp	200.000000 _{°C}
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0 _{mm}		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 _g
Bath Temperature	77.35 _K	Cross Section Area	16.2A _{1/mole}
BET Multi-point BET results			
Isotherm Branch		Adsorption	
Slope		933.519	
Intercept		13.2337	
Correlation coeff, r		0.997945	
C constant		71.541	
Surface area		3.678 m ² /g	
Table - BET Multi-point BET			
Relative Pressure	Volume Adsorbed	1 / [W((P/Po) - 1)]	
	@STP		
	cc/g		
0.0467083	0.606169		64.6733
0.0938669	0.828110		100.1117
0.135444	0.961909		130.3110
0.174618	0.976925		173.2700
0.216283	1.02145		216.1708
0.259362	1.09694		255.4277
0.300705	1.15414		298.1058

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Tue Jun 24 2025		Operator: Yusuf	
Filename: 08110525_2 ulang.qcuPhysiso			
Analysis Information			
Sample ID	0811_2 i	Weight	0.1218 _g
Description	Geopolymer CTAB 4%		
Analysis			
Data ID	(3b0ad347-2e41-409f-9fb6-4ac2d76b8f8)	Date	2025.06.19
Operator	Yusuf	Duration	40.0 _{min}
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.53 _{°C}	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay	300 _{sec}
Cell ID		Po Mode	Continuous
Adsorbate	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{gmol}
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35 _K
Non-ideality	6.580000e-05 _{1/scr}	Cross Section Area	16.2A _{1/mole}
Degas information			
Time	3.0 _{hour}	Temp	200.000000 _{°C}
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0 _{mm}		
Table - Isotherm Isotherm			
Relative Pressure, P/Po	Volume Adsorbed		
	@STP		
	cc/g		
0.0467083	0.606169		
0.0938669	0.828110		
0.135444	0.961909		
0.174618	0.976925		
0.216283	1.02145		
0.259362	1.09694		
0.300705	1.15414		

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERBUKA

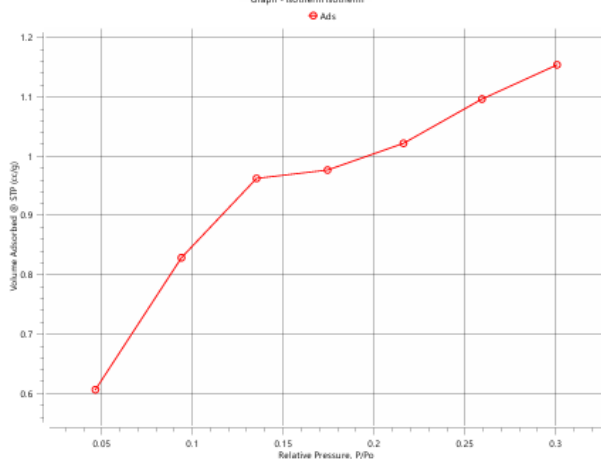
Quantachrome TouchWin v1.32



Report date: Tue Jun 24 2025 Operator: Yusuf
 Filename: 08110525_2 ulang.qcuPhysico

Sample		Analysis Information						
Description Analysis	ID	0811_21		Weight		0.1218g		
	Description	Geopollimer CDA 4%						
	Data ID	[3b0d347-2a41-409f-9fb6-4ac2d76b8fd]						
	Operator	Yusuf		Date		2025.06.19		
	Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX (v/n: 170170510001)				Duration	40.0 min	
Comments					Firmware	1.07		
Ambient Temp.	19.53 °C		Void Volume Mode		NOVA mode		Cell ID	22
Cell Type	9mm w/o rod		Thermal Delay		300 min		Pos Mode	Continuous
Adsorbate			Molecular Weight		28.013 g/mol			
Non-ideality	Name 6.580000e-05 (1 bar)		Bath Temperature		77.35 K		Cross Section Area	16.2 (mm²)
Degas information			Temp		200.000000 °C			

Thermal Transpiration		Data Reduction Parameters		Eff. Molec. Diameter	
Eff. Cell Diameter				0.5	
		Graph - Isotherm Isotherm			



d. Zeta Potential

1) Geopolymer

HORIBA
 Scientific
2025.05.17 10:57:35
HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20**SZ-100****Measurement Results**

Geopolymer_0825.nzt

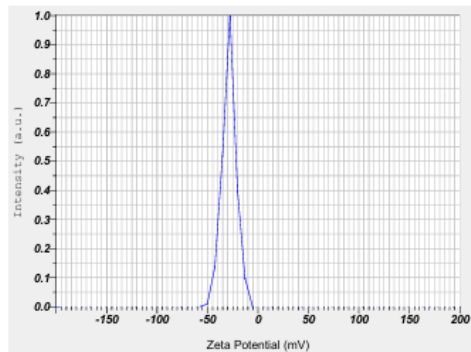
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:48:46
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : Geopolymer
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.895 mPa.s
 Conductivity : 0.303 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.3 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-28.6 mV	-0.000221 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -28.6 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000221 cm²/Vs

Expanding the Future

Automated Test Systems / Process & Environmental / Medical / Semiconductor / Scientific

HORIBA

SZ-100

Measurement Results

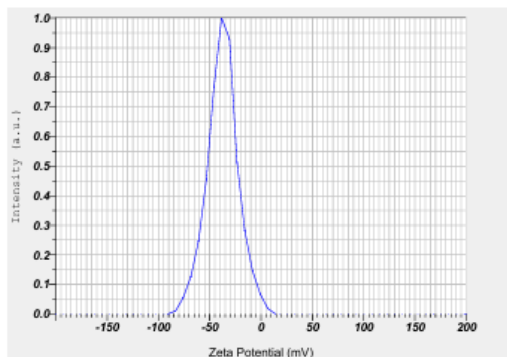
Geopolymer_0827.nzt
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:49:17
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : Geopolymer
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.896 mPa.s
 Conductivity : 0.303 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.3 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-37.6 mV	-0.000291 cm ² /Vs
2	-26.7 mV	-0.000238 cm ² /Vs
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -31.1 mV

 Electrophoretic Mobility Mean : -0.000240 cm²/Vs


SZ-100

Measurement Results

Geopolimer_0842.nzt Measurement Results

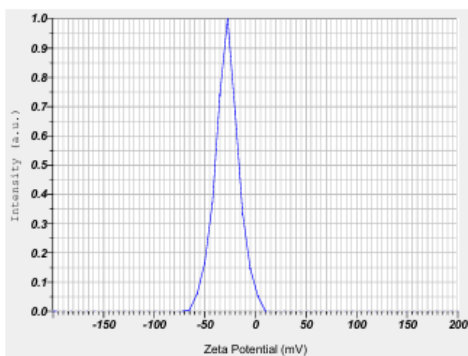
Date : 17 May 2025 10:55:47
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : Geopolimer
 Temperature of the Holder : 24.8 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.898 mPa.s
 Conductivity : 0.315 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.3 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-28.1 mV	-0.000217 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -28.1 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000217 cm²/Vs



2) Geopolimer termodifikasi CTAB 3%

HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

2025.05.17 10:45:33

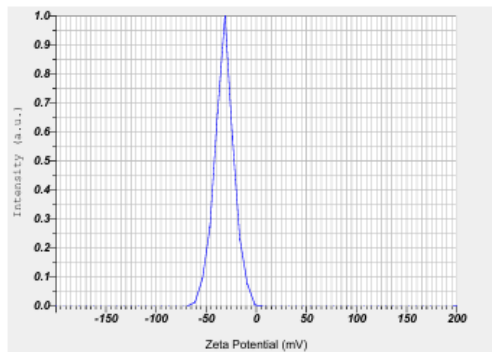
SZ-100**Measurement Results****CTAB 3%_0816.nzt****Measurement Results**

Date : 17 May 2025 10:42:10
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 3%
 Temperature of the Holder : 24.8 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.899 mPa.s
 Conductivity : 0.111 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-31.9 mV	-0.00246 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -31.9 mV
 Electrophoretic Mobility Mean : -0.00246 cm²/Vs



HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100

Measurement Results

CTAB 3%_0819.nzt

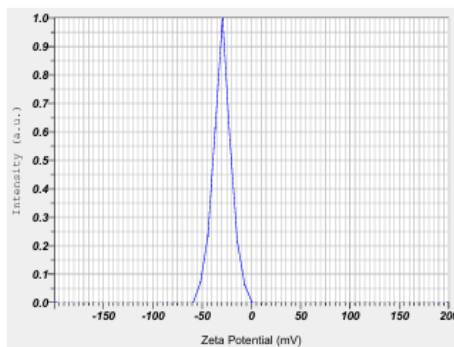
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:42:55
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 3%
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.896 mPa.s
 Conductivity : 0.111 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-29.5 mV	-0.000228 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -29.5 mV
 Electrophoretic Mobility Mean : -0.000228 cm²/Vs



Expanding the Future

Advanced Test Systems / Zeta & Conductivity / Zeta / Conductivity / Zeta

HORIBA

HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100

Measurement Results

CTAB 3%_0822.nzt

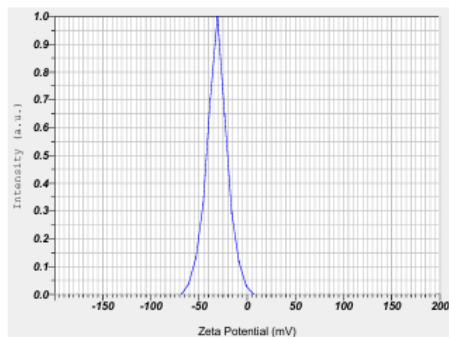
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:43:41
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 3%
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.895 mPa.s
 Conductivity : 0.111 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-31.3 mV	-0.000243 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -31.3 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000243 cm²/Vs

Exploring What's Next

Industrial, Test Systems, Process & Environmental, Medical, Semiconductor, Scientific

HORIBA

3) Geopolimer termodifikasi CTAB 4%

HORIBA
Scientific

2025.05.17 09:36:12
HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100

Measurement Results

CTAB 4%_0705.nzt

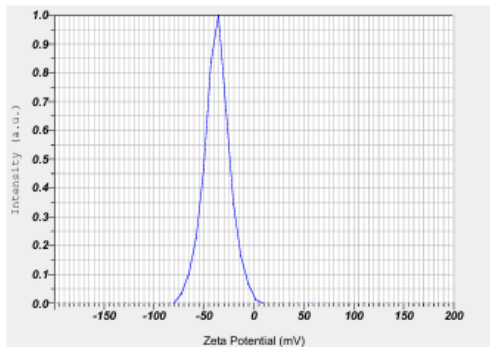
Measurement Results

Date : 17 May 2025 09:26:19
Measurement Type : Zeta Potential
Sample Name : CTAB 4%
Temperature of the Holder : 24.8 deg. C
Dispersion Medium Viscosity : 0.898 mPa.s
Conductivity : 0.115 mS/cm
Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-37.0 mV	-0.000286 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -37.0 mV
Electrophoretic Mobility Mean : -0.000286 cm²/Vs



HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100

Measurement Results

CTAB 4%_0706.nzt

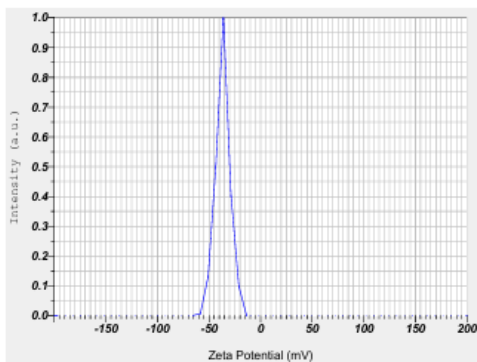
Measurement Results

Date : 17 May 2025 09:26:33
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 4%
 Temperature of the Holder : 25.0 deg.C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.896 mPa.s
 Conductivity : 0.115 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-36.6 mV	-0.000284 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -36.6 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000284 cm²/Vs

Explains the Software

Automatic Data Collection / Device Configuration / Setup / Parameter Setup / Search

HORIBA

4 / 4

SZ-100

Measurement Results

CTAB 4%_0707.nzt

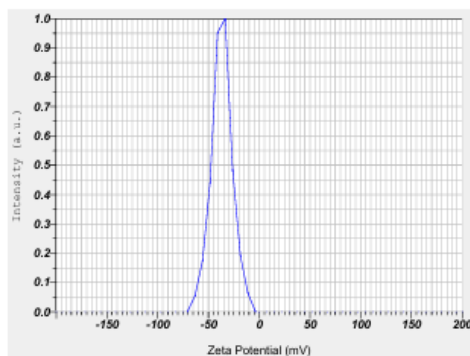
Measurement Results

Date : 17 May 2025 09:26:48
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 4%
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.895 mPa.s
 Conductivity : 0.115 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-36.8 mV	-0.000285 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -36.8 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000285 cm²/Vs

4) Geopolimer termodifikasi CTAB 5%

2025.05.17 10:41:21

HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100**Measurement Results**

CTAB 5%_0811.nzt

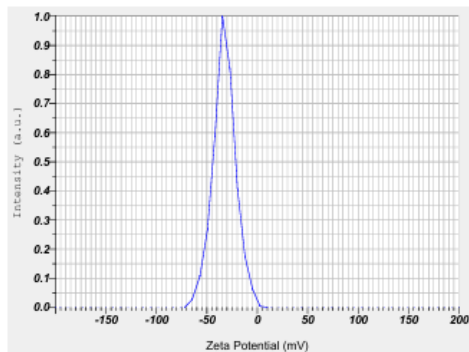
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:38:00
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 5%
 Temperature of the Holder : 24.9 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
 Conductivity : 0.154 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-32.6 mV	-0.000252 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -32.6 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000252 cm²/Vs

Engineering / Sales / Support

Industrial / Test Systems / Process & Environmental / Medical / Semiconductor / Scientific

HORIBA

SZ-100

Measurement Results

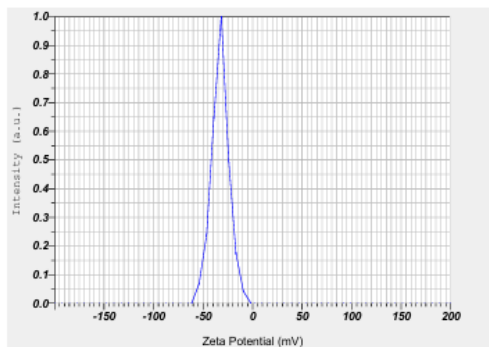
CTAB 5%_0809.nzt
Measurement Results

Date : 17 May 2025 10:37:30
 Measurement Type : Zeta Potential
 Sample Name : CTAB 5%
 Temperature of the Holder : 24.9 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
 Conductivity : 0.154 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-32.7 mV	-0.000253 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -32.7 mV

 Electrophoretic Mobility Mean : -0.000253 cm²/Vs


HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

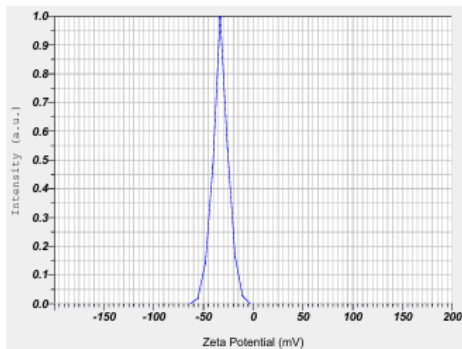
SZ-100**Measurement Results****CTAB 5%_0810.nzt****Measurement Results**

Date : 17 May 2025 10:37:45
Measurement Type : Zeta Potential
Sample Name : CTAB 5%
Temperature of the Holder : 24.9 deg. C
Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
Conductivity : 0.154 mS/cm
Electrode Voltage : 3.4 V

Calculation Results

Peak No.	Zeta Potential	Electrophoretic Mobility
1	-32.8 mV	-0.000254 cm ² /Vs
2	---	---
3	---	---

Zeta Potential (Mean) : -32.8 mV

Electrophoretic Mobility Mean : -0.000254 cm²/Vs

Envision the Future

Advanced Test Systems | Products & Components | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Esa Miftahul Izar
2. Tempat & Tgl. Lahir : Cilacap, 04 April 2003
3. Alamat Rumah : Jl. Raya Babakab Rt 02/02
Desa Kepudang, Kec.
Binangun, Kab. Cilacap.
4. HP : 08976027699
5. E-mail : szamfth@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. SDN Kepudang 02 2009-2015
 - b. SMP Negeri 3 Kroya 2015-2018
 - c. MAN 1 Cilacap 2018-2021
 - d. UIN Walisongo Semarang 2021-2025

C. Prestasi Akademik

- a. Peserta KSM Nasional 2020
- b. Finalis Oase II 2023