

ADSORPSI GAS NO₂ MENGGUNAKAN ZEOLIT TERIMOBILISASI GRIESS SALTZMAN

Yulirohyami¹, Mela Novianty Badriyah¹, Yunita¹

¹Program Studi DIII Analisis Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

email korespondensi : rohyami@uii.ac.id

Diterima
02.04.2022

Direvisi
19.04.2022

Dipublikasikan
21.04.2022

© Penulis 2022

PISSN 2540-8224
EISSN 2540-8267



Penerbit:
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

ABSTRAK

Telah dilakukan preparasi zeolite terimobilisasi Griess Saltzman sebagai adsorben dalam penentuan gas NO₂. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan prosedur penentuan gas NO₂ pada udara ambien atau gas emisi dari sumber bergerak dan tidak bergerak. Preparasi dilakukan melalui proses aktivasi zeolit dengan asam, imobilisasi zeolit dengan pereaksi Griess Saltzman, karakterisasi zeolite terimobilisasi Griess Saltzman, dan analisis gas NO₂ dengan adsorben zeolite terimobilisasi Griess Saltzman. Hasil analisis gas NO₂ dengan menggunakan adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman memberikan linearitas yang baik dengan koefisien linearitas dan koefisien determinasi masing-masing 0,9971 dan 0,9943. LoD dan LoQ yang diperoleh 0,09 dan 0,31 mg/mL. Penggunaan 0,25 g adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman memiliki hasil uji yang paling mendekati dengan pengujian standar menggunakan 10 mL pereaksi Griess Saltzman, masing-masing dengan konsentrasi $84,20 \pm 1,73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $84,38 \pm 1,73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dapat digunakan sebagai adsorben untuk analisis gas NO₂.

Kata kunci: Griess Saltzman, NO₂, zeolit.

ABSTRACT

Griess Saltzman immobilized zeolite has been prepared as an adsorbent in the determination of NO₂ gas. This research was conducted to develop a procedure for determining NO₂ gas in ambient air or gas emissions from mobile and stationary sources. The preparation was carried out through the activation process of zeolite with acid, immobilization of zeolite with Griess Saltzman reagent, characterization of Griess Saltzman immobilized zeolite, and analysis of NO₂ gas with Griess Saltzman immobilized zeolite adsorbent. The results of NO₂ gas analysis using Griess Saltzman immobilized zeolite adsorbent gave good linearity with coefficients of linearity and coefficient of determination of 0.9971 and 0.9943, respectively. LoD and LoQ obtained were 0.09 and 0.31 mg/mL, respectively. The use of 0.25 g of Griess Saltzman immobilized zeolite adsorbent has the closest test results to the standard test using 10 mL of Griess Saltzman reagent, with concentrations of $84.20 \pm 1.73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ and $84.38 \pm 1.73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, respectively. Based on the results of the study, it can be concluded that Griess Saltzman immobilized zeolite can be used as an adsorbent for NO₂ gas analysis.

Keywords: Griess Saltzman, NO₂, zeolite.

PENDAHULUAN

Gas NO₂ termasuk gas emisi yang menyebabkan pencemaran udara. Adanya cemaran gas NO₂ memberikan dampak terhadap kesehatan dan lingkungan sekitar. Menurut Baku Mutu Udara Ambien Nasional, konsentrasi gas NO₂ di udara ambien tidak boleh melebihi 400 µg/Nm³ (Pemerintah RI, 1999).

Menurut United States Environmental Protection Agency, cemaran gas NO₂ termasuk emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembangkit listrik, industri, dan asap kendaraan. Gas NO₂ yang berada di lapisan troposfer bersama gas karbon dioksida, belerang dioksida, merkuri, dan spesies gas berbahaya lainnya dapat menimbulkan gangguan kesehatan dan ekosistem (IPCC, 2014).

Gas NO₂ menyebabkan gangguan kesehatan seperti menimbulkan penglihatan pedih, gangguan pernafasan, gangguan jantung, dan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian (Darmawan, 2018; Farikah *et al.*, 2018). Gas NO₂ dan gas emisi lainnya seperti SO₂ dan amoniak dapat menyebabkan penyakit kardiovaskular, gangguan pernafasan akut, kanker paru-paru, dan penyakit kronis lainnya sehingga menyebabkan 3,2 juta kematian dini per tahun (IPCC, 2014).

Adanya cemaran gas NO₂ dapat menyebabkan terjadinya hujan asam (Darmawan, 2018). Gas NO₂ di lapisan troposfer akan membentuk kesetimbangan dengan uap air sehingga dapat menimbulkan hujan asam (Darmawan, 2018). Adanya cemaran NO₂ dan oksida nitrogen di atmosfer akan mengalami reaksi menghasilkan N₂O₅ dengan adanya cahaya matahari (Male, 2021). Gas N₂O₅ yang berada di kawasan yang memiliki kelembaban udara tinggi akan menyebabkan terjadinya pembentukan HNO₃ (Male, 2021). Adanya reaksi tersebut akan semakin memicu terjadinya hujan asam.

Pemantauan kualitas udara untuk parameter gas NO₂ sangat penting untuk terus dilakukan secara berkala. Pemantauan berkala konsentrasi gas NO₂ di udara yang dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di wilayah DKI Jakarta menggunakan metode *passive gas* menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis (BKMG, 2022). Spektrofotometri UV-Vis merupakan metode baku untuk analisis gas NO₂ dengan menggunakan penjerap pereaksi Griess Saltzman (Darmawan, 2018; Dwirahmawati *et al.*, 2018; Farikah *et al.*, 2018; Male, 2021).

Gas diserap dengan menggunakan tabung impiger dan akan menghasilkan senyawa *dye azo* yang dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis. Pengambilan contoh gas NO₂ dengan metode

tersebut memiliki kelemahan. Pengambilan contoh udara melalui pembentukan senyawa *dye azo* yang dihasilkan hanya dapat bertahan 24 jam. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangan metode analisis dan metode pengambilan contoh uji dengan melakukan modifikasi teknik pengambilan contoh.

Penelitian ini dilakukan dengan mengimobilisasikan pereaksi Griess Saltzman pada zeolit alam yang telah diaktivasi. Pereaksi Griess Saltzman dibuat dari campuran asam sulfanilat dalam asam asetat glasial dengan N-(1-naftil) etilen diamin dihidroklorida (NEDA) dalam aseton dan air. Hasil imobilisasi ini diharapkan dapat mengubah fase contoh uji yang diambil dari fase gas ke fase larutan menjadi dari fase gas menjadi fasa padat. Pengembangan metode ini diharapkan dapat digunakan sebagai metode pengawetan contoh uji dan dapat meningkatkan efisiensi pengangkutan contoh uji selama pengambilan contoh di lapangan.

Zeolit merupakan material alami berpori yang memiliki situs aktif sehingga memiliki potensi sebagai penukar ion, katalis, dan adsorben. Semakin besar luas permukaan zeolite, sisi aktifnya akan semakin besar (Ngapa & Ika, 2020). Zeolit memiliki situs aktif yang dapat digunakan untuk imobilisasi pereaksi Griess Saltzman. Adanya gugus $-OH$ memungkinkan untuk membentuk ikatan koordinasi dengan $-NH_2$ pada asam sulfanilat dan NEDA dari pereaksi Griess Saltzman. Hasil imobilisasi ini digunakan sebagai adsorben dalam pengujian gas NO_2 didasarkan pada pembentukan senyawa *dye azo* (Darmawan, 2018; Dwirahmawati *et al.*, 2018; Farikah *et al.*, 2018; Male, 2021). Rancangan penelitian disajikan pada prosedur dalam Gambar 1, yang dilakukan melalui tahap aktivasi zeolite dengan asam, imobilisasi zeolit terimobilisasi Griess Saltzman, dan pengujian NO_2 dengan adsorben Griess Saltzman.

METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi spektrofotometer UV-Vis Hitachi, *fourier transform infra red* (FTIR) Nicolet Avatar 360 IR, XRD Merek Bruker D2 Phase, *impinger*, dan peralatan gelas laboratorium. Bahan utama yang digunakan adalah zeolit alam. Bahan lain yang digunakan meliputi asam klorida, perak nitrat, asam sulfanilat, asam asetat glasial, dan N-(1-naftil) etilen diamin dihidroklorida (NEDA) yang diproduksi oleh Merck.

Prosedur

Preparasi zeolite terimobilisasi Griess Saltzman

Zeolit dihaluskan menggunakan mortar kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Sebanyak 30 g zeolit diaktivasi dengan 100 mL HCl (Fitriana & Rusmini, 2019; Ngapa & Ika, 2020) selama 5 jam. Hasil disaring dan dicuci dengan akuades dengan akuades hingga pH akuades. Zeolit yang telah diaktivasi dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam. Zeolit teraktivasi didinginkan dalam desikator.

Aktivasi zeolit mengacu pada prosedur (Setyorini *et al.*, 2018). Sebanyak 20 g zeolit yang telah diaktivasi direfluks dengan 100 mL pereaksi Griess Saltzman pada suhu 100 °C selama 2 jam. Pereaksi yang dibuat dengan melarutkan 2,5 g asam sulfanilat dalam 70 mL asam asetat glasial. Larutan ditepatkan volumenya hingga 100 mL kemudian ditambah dengan 10 mL larutan induk NEDA. Larutan NEDA dibuat dengan melarutkan 0,05 gram NEDA dalam 50 mL air dan 5 mL aseton, kemudian ditepatkan volumenya dengan akuades hingga volumenya 100 mL. Zeolit terimobilisasi Griess Saltzman disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Karakterisasi Zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dilakukan dengan menggunakan FTIR dan XRD.

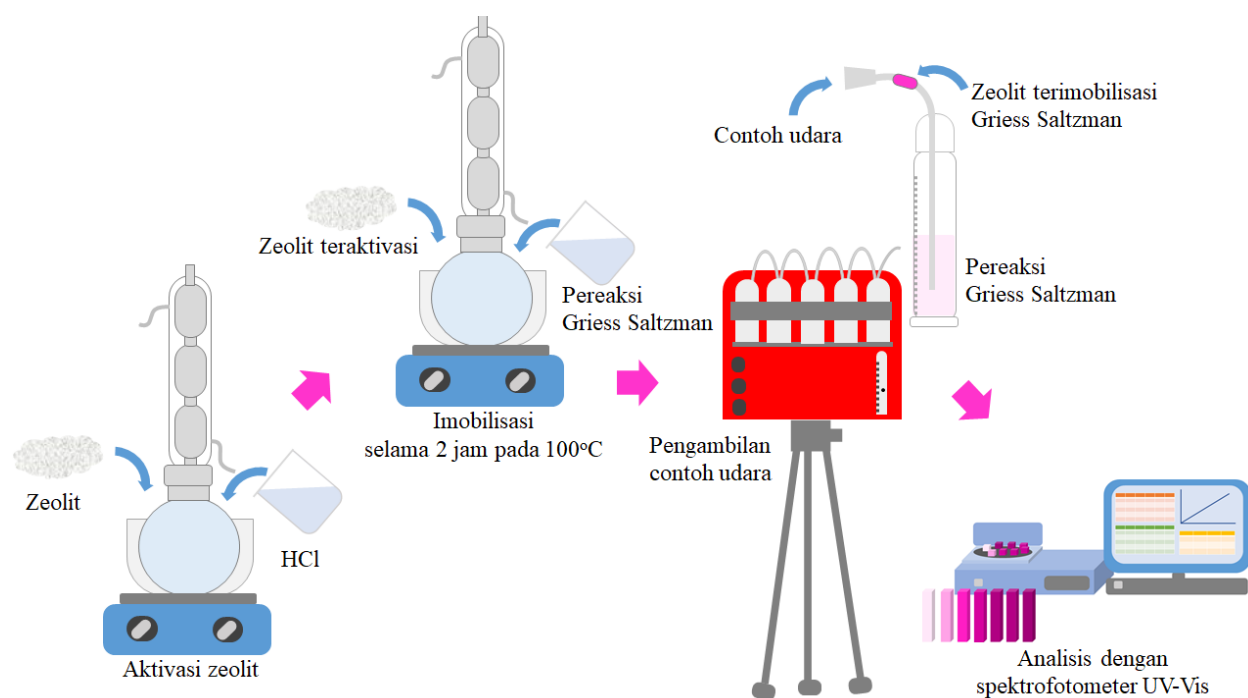
Penentuan Luas Permukaan Zeolit Terimobilisasi Griess Saltzman

Penentuan luas permukaan zeolite mengikuti prosedur (Chansiriwat *et al.*, 2016; Widihati *et al.*, 2010). Sebanyak 0,1 gram zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambah 10 mL larutan metilen blue 100 mg/L. Larutan diletakkan di atas shaker dan dikocok. Pengujian dilakukan dengan variasi waktu 20; 30; 40; 50; 60; 70 dan 80 menit. Hasil disaring dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan Konsentrasi Gas NO₂

Variasi massa untuk adsorben terdiri dari 0; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 gram.. Adsorben dimasukkan ke dalam pipa yang diberi pembatas kertas saring. Masing-masing pipa, disambungkan dengan tabung impinger yang diisi dengan 10 mL pereaksi Griess Saltzman. Adsorben digunakan untuk melakukan pengambilan contoh gas NO₂ selama 30 menit. Gas yang diserap dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Kontrol pengujian dilakukan dengan menggunakan pereaksi Griess Saltzman. Analisis Gas NO₂ mengacu pada prosedur standar yang dilakukan oleh (Dwirahmawati *et al.*, 2018; Farikah *et al.*, 2018). Gas NO₂ yang diadsorpsi zeolite

terimobilisasi Griess Saltzman dihitung dari selisih konsentrasi kontrol pengujian dengan konsentrasi yang gas NO_2 yang diserap oleh pereaksi Griess Saltzman. Prosedur preparasi zeolite teremobilisasi Griess Saltzman sebagai adsorben dalam penentuan NO_2 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur preparasi zeolite teremobilisasi Griess Saltzman sebagai adsorben dalam penentuan NO_2 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

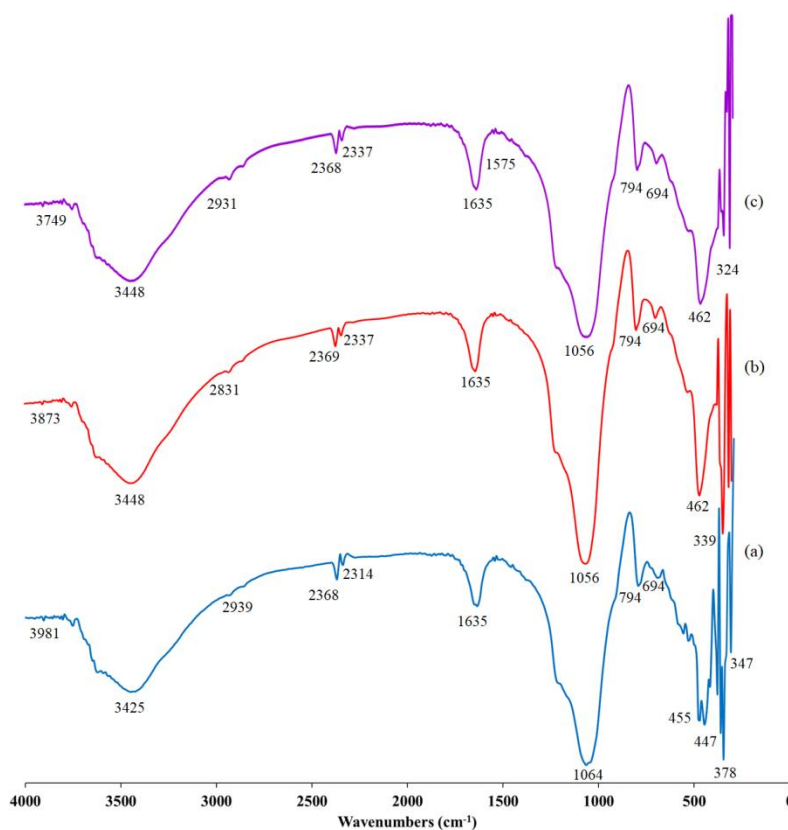
Preparasi Zeolite Terimobilisasi Griess Saltzman

Gambar 2 (a) menunjukkan spektra FTIR zeolit teraktivasi dan zeolite teremobilisasi Griess Saltzman. Frekuensi vibrasi pada bilangan gelombang 300 - 1.300 cm^{-1} menunjukkan adanya serapan Si-O yang telah dilaporkan sebagai bentuk tetrahedral aluminosilikat, $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (Anawati *et al.*, 2012; Saraswati, 2016). Berdasarkan hasil karakterisasi menunjukkan bahwa terdapat serapan pada bilangan gelombang 1.450 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus selain $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (Anawati *et al.*, 2012). Serapan pada 694 dan 794 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetri dari Si-O-Si dan Al-O-Al (Fitriana & Rusmini, 2019; Saraswati, 2016; Setyorini *et al.*, 2018).

Serapan pada 455 dan 462 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk Si-O dan Al-O pada kerangka

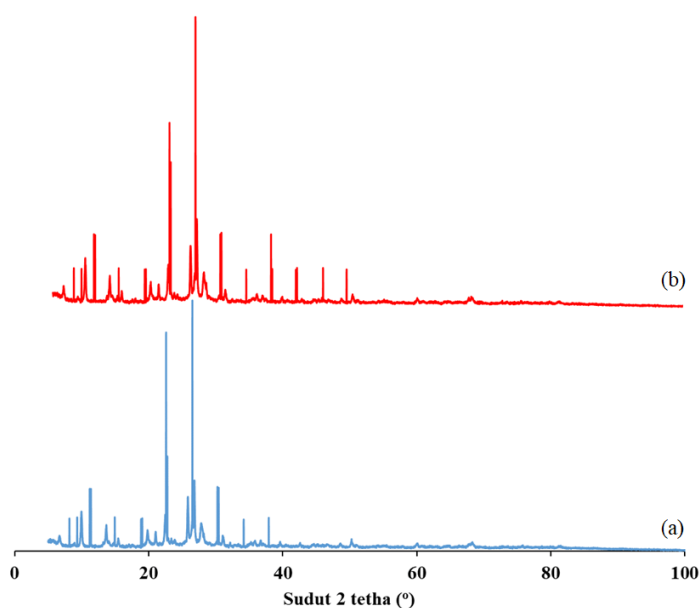
alumino silikat (Fitriana & Rusmini, 2019; Saraswati, 2016; Setyorini *et al.*, 2018). Serapan pada 1.064 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetri S-O-Si dan Al-O-Al (Fitriana & Rusmini, 2019; Saraswati, 2016). Serapan pada bilangan gelombang 3.425 dan 3.749 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetris dari gugus –OH pada Si-OH (Anawati *et al.*, 2012; Fitriana & Rusmini, 2019; Ruíz-Baltazar *et al.*, 2015). Pita serapan pada 1635 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi tekuk –OH dari Si-OH (Anawati *et al.*, 2012; Fitriana & Rusmini, 2019).

Gambar 2 (b) immobilisasi Griess Saltzman ditandai dengan adanya kenaikan intensitas dan pergeseran pada bilangan gelombang pada 3425 cm^{-1} menjadi 3448 cm^{-1} dari –NH. Adanya gugus C-H aromatik pada pereaksi Griess Saltzman ditunjukkan pada bilangan gelombang 1575 cm^{-1} . Adanya pembentukan senyawa *dye azo* ditunjukkan pada Gambar 2 (c). Puncak pada bilangan gelombang 1575 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan –N=N– pada pembentukan senyawa azo antara pereaksi Griess Saltzman yang diimmobilisasi pada zeolit dengan gas NO_2 .



Gambar 2. Spektra FTIR (a) zeolite teraktivasi (b) zeolit terimmobilisasi Griess Saltzman dan (c) zeolite terimmobilisasi Griess Saltzman yang mengikat NO_2 .

Gambar 3 menunjukkan difraktogram zeolit dan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan XRD, dapat ditunjukkan puncak karakteristik untuk zeolit alam yang telah diaktivasi dengan asam dan zeolit teraktivasi yang diimobilisasi dengan pereaksi Griess Saltzman. Hasil karakterisasi ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan puncak karakteristik yang ditunjukkan, zeolit teraktivasi memiliki puncak pada sudut 2 tetha 6,692; 9,962; 13,667; 19,825; 21,028; 22,479; 25,841; 26,978; dan 31,088°. Puncak tersebut merupakan puncak yang karakteristik untuk zeolit teraktivasi (Ngapa & Ika, 2020; Yunita *et al.*, 2019).



Gambar 3. Spektra XRD (a) zeolite teraktivasi (b) zeolit terimobilisasi Griess Saltzman

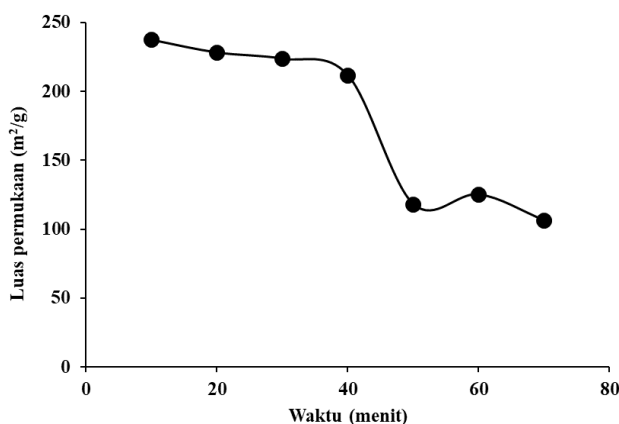
Tabel 1. Puncak difraktogram XRD zeolit dan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman

Puncak	Zeolit			Zeolit terimobilisasi Griess Saltzman		
	2 tetha (°)	d (Å)	Intensitas	2 tetha (°)	d (Å)	Intensitas
1	26,978	3,324	1.131	26,724	3,333	1.428
2	25,841	3,445	992	25,769	3,454	957
3	9,962	8,872	726	9,889	8,937	770
4	22,479	3,952	627	22,414	3,963	626
5	13,667	6,474	441	13,589	6,511	451
6	27,821	3,204	441	27,780	3,209	451
7	19,825	4,474	319	19,762	4,489	332
8	21,028	4,221	273	20,935	4,240	272
9	31,088	2,864	191	31,010	2,882	210
10	6,692	13,198	178	15,397	5,750	182

Berdasarkan hasil karakterisasi, zeolit alam yang diaktivasi merupakan campuran klinoptilolit dan modernit (Ruíz-Baltazar *et al.*, 2015). Puncak pada 25,841; 26,978; dan 31,088° menunjukkan zeolit jenis modernit (Ngapa & Ika, 2020). Puncak 9,962; 13,667; dan 31,088° menunjukkan zeolite jenis klinoptilolit (Ngapa & Ika, 2020). Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan intensitas pada hasil imobilisasi pereaksi Griess Saltzman dalam permukaan zeolite. Data tersebut menunjukkan adanya kenaikan kristalinitas relatif 107 %.

Penentuan Luas Permukaan Zeolit Terimobilisasi Griess Saltzman

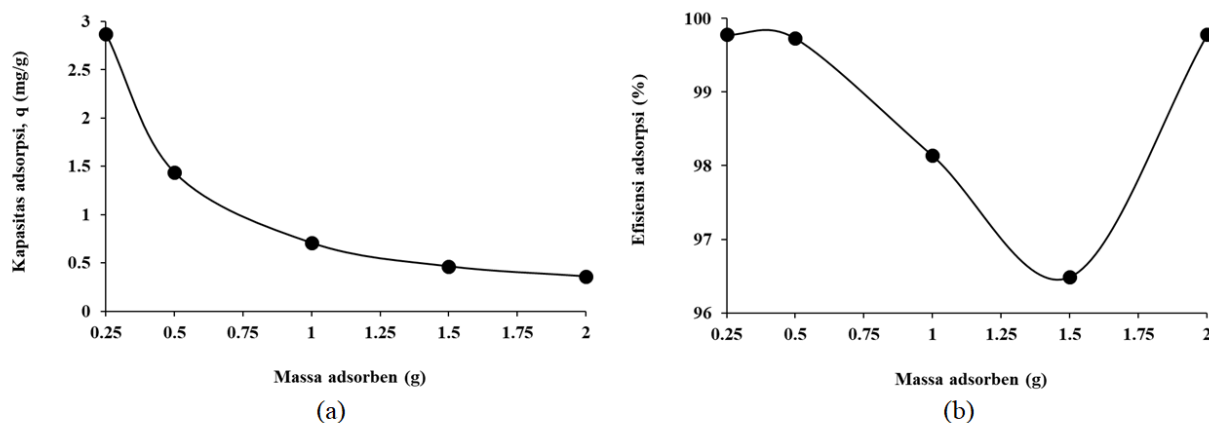
Luas permukaan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman diperoleh grafik hubungan antara waktu adsorpsi biru metilen dengan luas permukaan yang dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil penentuan luas permukaan, zeolit teraktivasi yang diimobilisasi Griess Saltzman memiliki luas permukaan yang besar. Luas permukaan ini akan menentukan efisiensi penggunaan adsorben yang digunakan pada pengambilan contoh gas NO₂ dalam pengujian kualitas udara.



Gambar 4. Grafik luas permukaan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman

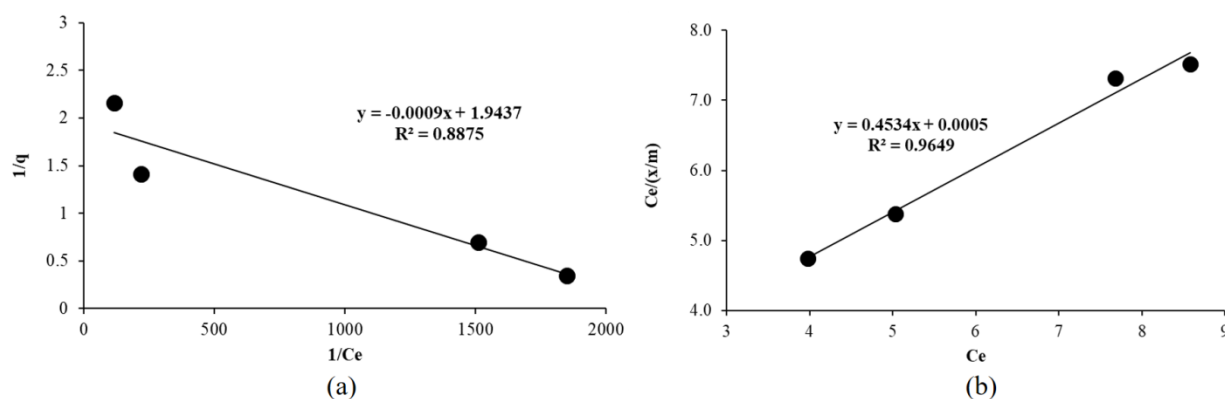
Adsorpsi Gas NO₂ Menggunakan Zeolit Terimobilisasi Griess Saltzman

Hasil studi adsorpsi gas NO₂ dengan adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dapat ditunjukkan pada Gambar 5. Kapasitas adsorpsi gas NO₂ menggunakan adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman (Gambar 5a). Berdasarkan hasil penelitian dapat ditunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi paling optimum dengan penggunaan 0,25 g adsorben.



Gambar 5. (a) kapasitas adsorpsi zeolit terimobilisasi Griess Saltzman (b) efisiensi adsorpsi gas NO_2 dengan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman.

Berdasarkan hasil penelitian juga ditunjukkan bahwa semakin besar adsorben yang digunakan dalam proses pengambilan contoh gas NO_2 maka efisiensi adsorpsi semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena konsentrasi gas NO_2 di udara yang relatif kecil, sehingga semakin besar massa adsorbennya kapasitas adsorpsinya menjadi semakin menurun. Zeolit terimobilisasi pereaksi Griess Saltzman dapat direkomendasikan sebagai prosedur alternatif dalam pengambilan contoh gas NO_2 . Gas NO_2 yang diadsorpsi dapat didesorpsi dengan pereaksi Griess Saltzman dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Metode ini dapat meminimalkan ukuran adsorben dan sebagai upaya pengawetan contoh gas NO_2 , dan efektifitas pengangkutan dan penyimpanan contoh uji dari lokasi pengambilan contoh menuju laboratorium.



Gambar 6. Isoterm adsorpsi (a) Langmuir (b) Freundlich

Gambar 6 menunjukkan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan

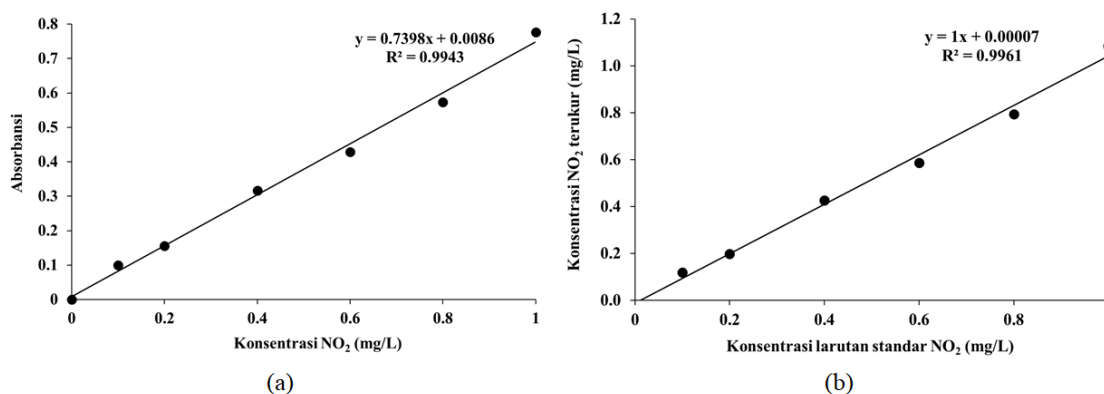
Gambar 6 dapat disajikan nilai konstanta isotherm adsorpsi pada Tabel 3. Berdasarkan data pada Tabel 3, model isotherm adsorpsi gas NO₂ pada adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman mengikuti model isotherm Freundlich. Gas NO₂ terikat secara multilapis pada permukaan zeolit terimobilisasi Griess Saltzman.

Tabel 3. Konstanta model isotherm adsorpsi

Langmuir			Freundlich		
qm (mg/g)	KL (L/mg)	R ²	1/n	KF (mg/g)	R ²
0,5145	571,65	0,8875	0,4534	1,0005	0,9649

Penentuan Konsentrasi Gas NO₂ dengan Adsorben Zeolit Terimobilisasi Griess Saltzman

Hasil studi penentuan gas NO₂ dengan adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman disajikan pada Tabel 5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode kurva kalibrasi yang disajikan pada Gambar 7. Gambar 7 (a) menunjukkan kurva kalibrasi larutan standar NO₂ memenuhi persyaratan keberterimaan data dengan koefisien linearitas dan koefisien determinasi 0,9971 dan 0,9943. Hasil pengukuran konsentrasi gas NO₂ yang dibuat memiliki korelasi yang baik dengan konsentrasi terukur. Gambar 7 (b) menunjukkan bahwa konsentrasi larutan standar NO₂ yang dibuat dan yang terukur memiliki korelasi 0,9971. Berdasarkan hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi larutan standar yang terukur memiliki keberterimaan dengan konsentrasi yang sebenarnya.



Gambar 7. (a) Kurva kalibrasi larutan standar NO₂ (b) Linearitas konsentarasasi larutan standar gas NO₂ yang terukur

Tabel 4. Penentuan *limit of detection* dan *limit of quantification*

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (Y)	Absorbansi terkoreksi (Y _i)	(Y-Y _i) ²
0	0,000	0,0086	7,39 x 10 ⁻⁵
0,1	0,1005	0,0825	3,24 x 10 ⁻⁴
0,2	0,1565	0,1565	1,00 x 10 ⁻⁸
0,4	0,3165	0,3045	1,44 x 10 ⁻⁴
0,6	0,429	0,4524	5,48 x 10 ⁻⁴
0,8	0,574	0,6004	7,00 x 10 ⁻⁴
1	0,777	0,7484	8,18 x 10 ⁻⁴
$\Sigma (Y-Y_i)^2$			0,0026
Standar deviasi residual			0,2282
<i>Limit of detection</i> (mg/L)			0,09
<i>Limit of quantification</i> (mg/L)			0,31

Penentuan gas NO₂ dengan metode ini dapat dilakukan pada level konsentrasi yang rendah. Berdasarkan data pada Tabel 4, *limit of detection* penentuan gas NO₂ adalah 0,09 mg/L dan *limit of quantification* 0,31 mg/L. Hasil pengujian gas NO₂ dengan adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat ditunjukkan bahwa adsorben zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dapat digunakan sebagai adsorben dalam pengambilan dan pengujian contoh gas NO₂. Hasil pengujian yang memiliki nilai pengukuran mendekati nilai hasil uji dengan pereaksi Griess Saltzman yaitu dengan menggunakan 0,25 dan 2 g adsorben. Berdasarkan kapasitas dan efisiensi adsorpsi, massa adsorben yang direkomendasikan dalam pengembangan metode uji adalah 0,25 g. Pengujian ini memiliki konsentrasi hasil pengukuran $84,20 \pm 1,73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Nilai ini mendekati nilai pengujian dengan metode baku dengan adsorben 10 mL pereaksi Griess Saltzman dengan hasil pengukuran $84,38 \pm 1,73 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Tabel 5. Hasil analisis gas NO₂ menggunakan adsorben zeolite terimobilisasi Gries Saltzman

Massa adsorben	Konsentrasi gas NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
0	84,38 $\pm$ 1,73
0.25	84,20 $\pm$ 1,73
0.5	84,16 $\pm$ 1,73
1	82,81 $\pm$ 1,73
1.5	81,42 $\pm$ 1,73
2	84,20 $\pm$ 1,73

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa zeolit terimobilisasi Griess Saltzman dapat dibuat sebagai adsorben pada pengambilan contoh gas NO₂. Adsorpsi gas NO₂ berlangsung melalui pembentukan senyawa *dye azo* antara gas NO₂ dan pereaksi Griess Saltzman yang diimobilisasikan pada permukaan zeolit. Proses adsorpsi yang berlangsung pada pengambilan contoh gas NO₂ dengan adsorben zeolit terimobilisasi dapat meningkatkan efisiensi pengangkutan contoh uji selama pengambilan contoh di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- Anawati, F., Suseno, A., & Taslimah. (2012). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Limbah Padat. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi* 15, Vol. 15(1), 18–23.
- BKMG. (2022). *Monitoring Nitrogen Dioksida (NO₂)*. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-no2.bmkg>
- Chansiriwat, W., Tanangteerapong, D., & Wantala, K. (2016). Synthesis of zeolite from coal fly ash by hydrothermal method without adding alumina and silica sources: Effect of aging temperature and time. *Sains Malaysiana*, Vol. 45(11), 1723–1731.
- Darmawan, R. (2018). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kadar NO₂ serta keluhan kesehatan petugas Pemungut Karcis Tol. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol. 10(1), 116.
- Dwirahmawati, F., Nasrullah, N., & Sulistyantara, B. (2018). Analisis Perubahan Konsentrasi Nitrogen Dioksida (No₂) Pada Area Bervegetasi Dan Tidak Bervegetasi Di Jalan Simpang Susun. *Jurnal Lanskap Indonesia*, Vol. 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.29244/jli.v10i1.18356>
- Farikah, T., Maddusa, S., & Sumampouw, O. J. (2018). Analisis Kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) di Area Parkir Basement Jumbo Swalayan Kota Manado Tahun. *Jurnal KESMAS*, Vol. 7(5).
- Fitriana, N., & Rusmini. (2019). Pembuatan Zeolit Alam Teraktivasi HCl dan Karakterisasinya. *UNESA Journal of Chemistry*, Vol. 8(1), 17–19.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*.
- Male, Y. T. (2021). Analisis Tingkat Pencemaran Gas CO, NO₂, dan SO₂ pada Daerah Batu Merah Kota Ambon. *Akta Kimia Indonesia*, Vol. 6(1), 58. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v6i1.8473>
- Ngapa, Y. D., & Ika, Y. E. (2020). Optimasi Adsorpsi Kompetitif Pewarna Biru Metilena dan Metil Oranye Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Ende - Nusa Tenggara Timur (NTT). *Indo. J. Chem. Res*, Vol. 8(2), 151–159. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-ydn>
- Pemerintah RI. (1999). Baku Mutu Udara Ambien Nasional. In *Peraturan Pemerintah RI No.41 tahun 1999*.

- Ruíz-Baltazar, A., Esparza, R., Gonzalez, M., Rosas, G., & Pérez, R. (2015). Preparation and characterization of natural zeolite modified with iron nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/364763>
- Saraswati, I. (2016). Zeolite-a Synthesis From Glass. *Jurnal Sains Dan Matematika*, Vol. 23(4), 112-115–115.
- Setyorini, A., Suhartana, S., & Pardoyo, P. (2018). Natural Zeolite Modification using Dithizone and Its Application as Adsorbent of Cu(II). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, Vol. 21(2), 98–101. <https://doi.org/10.14710/jksa.21.2.98-101>
- Widihati, I., Ratnayani, O., & Angelina, Y. (2010). Karakterisasi Keasaman dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (*Cocos nucifera*) dan Pemanfaatannya sebagai Biosorben Ion Cd^{2+} . *Jurnal Kimia*, Vol. 4(1), 7–14.
- Yunita, I., Sulistyaningsih, T., & Widiarti, N. (2019). Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair. *Indonesian Journal of Chemical Science*, Vol. 8(2), 87–92.