

Pengaruh Zeolit dan Zat Pengaktif Terhadap Kualitas Gas Propylene

(The Effect of Zeolite and Activating Agents on Propylene Gas Quality)

Wahyu Romadona¹, Ani Melani², Atikah Atikah³

Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia^{1,2,3}

animelani2034@gmail.com^{1,2,3}



Riwayat Artikel

Diterima pada 1 Juni 2024

Revisi 1 pada 11 Juni 2024

Revisi 2 pada 18 Juni 2024

Revisi 3 pada 25 Juni 2024

Disetujui pada 2 Juli 2024

Abstract

Purpose: This study aimed to synthesize and characterize ultrafiltration membranes based on polyethersulfone (PES) with the addition of titanium dioxide (TiO₂) at concentrations of 0%, 1%, and 2% to evaluate its effect on membrane structure and water treatment performance.

Research/methodology: Membranes were prepared via phase inversion using N, N-dimethylacetamide (DMAc) as the solvent and polyvinylpyrrolidone (PVP) as an additive. The characterization techniques used included FTIR (functional groups), SEM and AFM (morphology), contact angle measurements (hydrophilicity), porosity testing, and pure water flux analysis.

Results: TiO₂ addition significantly improved the membrane properties. Hydrophilicity increased as the contact angle decreased from 68.2° to 53.7. The porosity increased from 48.78% to 67.75%, and the 2% TiO₂ membrane exhibited the best surface structure and pore distribution. It also achieved the highest water flux at 5.77 L/m²·h, although still below the typical ultrafiltration standard (10–50 L/m²·h).

Conclusions: Incorporating TiO₂ enhanced the hydrophilicity, porosity, and uniformity of PES membranes. The 2% TiO₂ membrane demonstrated optimal performance despite not achieving the standard ultrafiltration flux.

Limitations: The limitations of this study include the non-uniform dispersion of TiO₂ particles and the testing conducted only under laboratory conditions, which may not accurately reflect real-world performance.

Contribution: This study demonstrates the potential of TiO₂ in improving PES membrane performance for water treatment and provides a practical reference for developing advanced ultrafiltration membranes for industrial applications.

Keywords: *Mesh Size, Petrochemical Refining, Propylene Gas Purification, Sulfur Adsorption, Zeolite Activation.*

How to Cite: Romadona, W., Melani, A., Atikah, A. (2025). Pengaruh Zeolit dan Zat Pengaktif Terhadap Kualitas Gas Propylene. *Jurnal Teknologi Riset dan Terapan (Jatra)*, 2(2), 67-74.

1. Pendahuluan

Gas Raw Propane Propylene atau lebih dikenal gas Raw PP merupakan salah satu produk yang dihasilkan dalam proses perengkahan minyak bumi. Di PT. Pertamina Refinery Unit III Plaju, gas Raw PP dihasilkan di Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU). FCCU atau Fluid Catalytic Cracking Unit merupakan suatu unit yang bertugas untuk mengolah minyak dengan cara perengkahan (Sarosa, Samadhi, & Budiyanoto, 2015). Perengkahan adalah suatu proses pemutusan rantai panjang hidrokarbon menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek dengan bantuan katalis (Laily & Maharani, 2021). Gas Raw PP yang digunakan sebagai umpan di Polypropylene Unit harus memenuhi

beberapa spesifikasi terlebih dahulu, diantaranya kandungan sulfur harus lebih kecil dari 1 ppm (Safari & Vesali-Naseh, 2019). Namun gas Raw PP yang dihasilkan dari FCCU memiliki kandungan sulfur yang cukup tinggi yaitu lebih dari 1000 ppm sehingga diperlukan suatu unit pemurnian atau purifikasi untuk mengurangi kandungan sulfur sebelum ditransferkan ke Polypropylene Unit (Akah & Al-Ghrami, 2015).

Sulfur secara alami pasti terkandung dalam dalam minyak mentah (crude oil) namun dengan kandungan yang bervariasi mulai dari yang paling rendah hingga tinggi (Faputri & Setiorini, 2022). Senyawa sulfur yang terkandung dalam crude oil dapat berupa hidrogen sulfida (H_2S), karbonil sulfida (COS), dan metil merkaptan (CH_4S) (Fitri & Arfi, 2024). Untuk crude oil dengan kandungan sulfur rendah disebut sweet crude sedangkan sour crude digunakan untuk crude oil dengan kandungan sulfur yang tinggi (Risdiyanta, 2015); (Suradi & Marisa, 2020). Di Refinery Unit III, crude oil yang digunakan adalah cocktail, artinya campuran antara sour crude dan sweet sehingga kandungan sulfurnya tidak terlalu tinggi seperti sour crude. Selama umpan yang digunakan memiliki kandungan sulfur yang tinggi, maka produk-produk yang dihasilkan pasti memiliki kandungan sulfur (Houda, Lancelot, Blanchard, Poinel, & Lamonier, 2018).

Senyawa sulfur seperti hidrogen sulfida (H_2S), karbonil sulfida (COS), dan metil merkaptan (CH_4S) merupakan impuritis atau zat pengotor yang secara alami terkandung dalam minyak mentah (Adhi, Sardenianto, & Indarto, 2022). Selain impuritis sulfur terdapat impuritis lain seperti mineral-mineral garam, logam-logam, nitrogen, oksigen, dan lain-lain (Saskiyah, Harjuni, & Henny, 2024). Zat impuritis tidak diinginkan dalam industri pengolahan minyak dan gas karena memiliki dampak yang merugikan untuk produsen maupun konsumen. Sulfur di industri minyak dan gas merupakan zat yang tidak diinginkan karena memiliki dampak negatif baik di proses pengolahan ataupun pengaplikasian setelah jadi produk-produk siap jual. Selama proses pengolahan, sulfur dapat menyebabkan korosif di pipa-pipa atau kolom (Abd, Naji, & Hashim, 2020). Sifat korosif pada sulfur dapat merusak peralatan pada proses produksi minyak dan gas. Sedangkan pada sisi konsumen sifat korosif pada sulfur dapat merusak mesin kendaraan (Magga, Zuchry, & Arifin, 2017).

Zeolit merupakan batuan atau mineral alam yang secara kimiawi termasuk golongan mineral silika dan dinyatakan sebagai alumina silikat terhidrasi, berbentuk halus, dan merupakan hasil produk sekunder yang stabil pada kondisi permukaan karena berasal dari proses sedimentasi, pelapukan maupun aktivitas hidrotermal (Ningsih, Tamboesai, & Muchtar, 2015). Zeolit merupakan senyawa alumina silika (Si/Al) yang mempunyai pori dan luas permukaan yang relatif besar, sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang tinggi (Lubis, Nasution, & Zubir, 2020). Zeolit dengan kandungan Si yang tinggi seperti clinoptilolite, mordenite, dan ferrierite dikelompokkan sebagai batuan acidic. Zeolit merupakan kristal berongga yang terbentuk oleh jaringan silika alumina tetrahedral tiga dimensi dan mempunyai struktur yang relatif teratur dengan rongga yang di dalamnya terisi oleh logam alkali atau alkali tanah sebagai penyeimbang muatannya (Daulay, Manalu, & Masthura, 2019). Rongga-rongga tersebut merupakan suatu sistem saluran yang di dalamnya terisi oleh molekul air.

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa fisik pada permukaan suatu bahan yang tergantung dari spesifik affinity (gaya gabung) antara adsorben dan zat yang diadsorpsi (Zulfania, Fathoni, & Nur, 2022). Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan pada permukaan suatu adsorben, misalnya adsorpsi zat padat terhadap gas atau zat cair (Muharani & Purba, 2023). Zat yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Untuk adsorben dengan luas permukaan dan berat tertentu, zat yang diadsorpsi tergantung pada konsentrasi solute di sekitar solvent. Makin tinggi konsentrasinya, makin besar pula zat yang diadsorpsi (Atikah, 2017). Proses adsorpsi ada dalam keadaan setimbang. Apabila kecepatan suatu zat ditambah atau dikurangi maka akan terjadi keadaan setimbang yang baru.

Struktur kerangka zeolit mengandung saluran atau hubungan rongga yang berisi kation dan molekul air yang bebas sehingga memungkinkan pertukaran ion atau chemisorption (W. S. Atikah, 2017). Kation aktif bergerak dan umumnya bertindak sebagai ion exchange. Air dapat dihilangkan secara reversible yang secara umum dilakukan dengan pemberian panas. Polaritas muatan zeolit menyebabkan kristal zeolit memiliki afinitas terhadap molekul-molekul polar, seperti air. Semua zeolit yang ditemukan di

alam selalu mengandung air. Air merupakan molekul polar yang sangat mudah teradsorpsi di permukaan zeolit (Asmorowati, Kristanti, & Sumarti, 2023). Karena ukurannya kecil, air akan mengisi seluruh saluran dan rongga-rongga dalam kristal zeolit. Air teradsorpsi ini dapat didesorpsikan dengan cara pemanasan atau pemvakuman (Wahyudi & Ramani, 2022).

Sebelum digunakan sebagai adsorben, zeolit harus diaktifkan terlebih dahulu agar jumlah pori-pori yang terbuka lebih banyak sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Zeolit yang cocok untuk adsorben yaitu apabila diaktifkan akan memberikan rasio Si/Al yang tinggi (10-100). Zeolit dengan rasio Si/Al tinggi bersifat hidrofob (Muttaqii et al., 2019). Agar kapasitas adsorpsi zeolit tidak mengalami penurunan, molekul-molekul air harus dikeluarkan dari dalam rongga zeolit, yaitu dengan cara pemanasan hingga temperatur 110°C. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya interaksi antara gaya pada permukaan padatan adsorben dengan molekul-molekul yang akan diserap (Kusumaningrum, Sudarni, & Wahyuningsih, 2022). Selain pemanasan, peningkatan kapasitas adsorpsi zeolit dapat dilakukan dengan cara penambahan larutan kimia baik bersifat basa ataupun asam tergantung dengan senyawa atau komponen apa yang akan dieliminasi. Pada penurunan kadar sulfur dan karbon dioksida, sebagai zat pengaktivasi biasanya menggunakan larutan yang bersifat asam dan basa. Pada penelitian ini zat pengaktivasi yang digunakan adalah NaOH, H₂SO₄, dan HCl (Herawaty, Andrian, & Oktaviani, 2022).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti (Sigot, Ducom, & Germain, 2016) yang menyatakan bahwa zeolit merupakan adsorben yang efektif dalam penyerapan kandungan sulfur dibandingkan dengan menggunakan karbon aktif ataupun silika gel dengan kapasitas penyerapan sebesar 180 mgH₂S/ grzeolit. Menurut penelitian (Widhiyanuriyawan & Hamidi, 2013) didapatkan kondisi optimal penyerapan hidrogen sulfida sebesar 96,32% dengan menggunakan zeolit dan NaOH 0,1 N. Selain itu zeolit dengan ukuran halus lebih bagus dalam penyerapan impurities dibandingkan dengan zeolit ukuran besar namun ukuran zeolitnya tidak disebutkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Saleh, Oktariya, & Sarah, 2017) yang berjudul pengaruh massa zeolit dan laju alir Compressed Natural Gas terhadap peningkatan metana melalui proses pemurnian didapatkan titik optimum pemurnian metana sebesar 92,88% mol dengan menggunakan zeolit yang diaktivasi dengan HCl 20%. Menurut penelitian yang dilakukan (Utami, 2017) yang berjudul aktivasi zeolit sebagai adsorben gas didapatkan kondisi optimum penyerapan impurities sebesar 75,5 % dengan menggunakan zeolit yang diaktivasi dengan H₂SO₄ 25%. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut maka peneliti meneliti variabel yang dapat mempengaruhi proses penyerapan sulfur dengan menggunakan zeolite (Fauziah, Faeni, & Fikri, 2024).

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Petrochemical Refinery Unit III Plaju, Palembang pada bulan Maret – Mei 2023.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit dengan berbagai ukuran mesh (6, 7, 8, 9, dan 10), larutan natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H₂SO₄), dan asam klorida (HCl) masing-masing dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, aquadest dan gas Raw Propane Propylene (RPP). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sieve shaker, oven, desikator, bombe sampel, tabung adsorpsi berisi zeolit, balon sampel dan alat NSX 2100V Trace Elemental Analyzer.

2.3 Metode

Pada penelitian ini terdapat 3 variabel yaitu variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah suhu aktivasi fisis, 110°C, berat zeolit sebanyak 150 gr. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ukuran zeolit (6, 7, 8, 9, dan 10 mesh), jenis zat pengaktif: NaOH, H₂SO₄, dan HCl, konsentrasi zat pengaktif sebesar 5, 10, 15, 20, dan 25%. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif yaitu dengan membuat Tabel dan Gambar grafik dari hasil persentase penyerapan sulfur oleh zeolit alam sehingga dapat diketahui kondisi optimumnya.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Hasil

Tabel 1. Persentase Penyerapan Sulfur Menggunakan NaOH

No.	Konsentrasi NaOH (%)	Persentase Penurunan Konsentrasi Sulfur (%)				
		Ukuran Zeolit (Mesh)				
		6	7	8	9	10
1	5	20,2	29,4	46,8	58,8	73,4
2	10	33,6	43,1	68,6	85,1	95,5
3	15	49,7	65,2	78,0	89,3	99,0
4	20	53,9	75,0	87,5	95,1	99,0
5	25	52,6	76,7	89,2	95,2	98,9

Tabel 2. Persentase Penyerapan Sulfur Menggunakan H₂SO₄

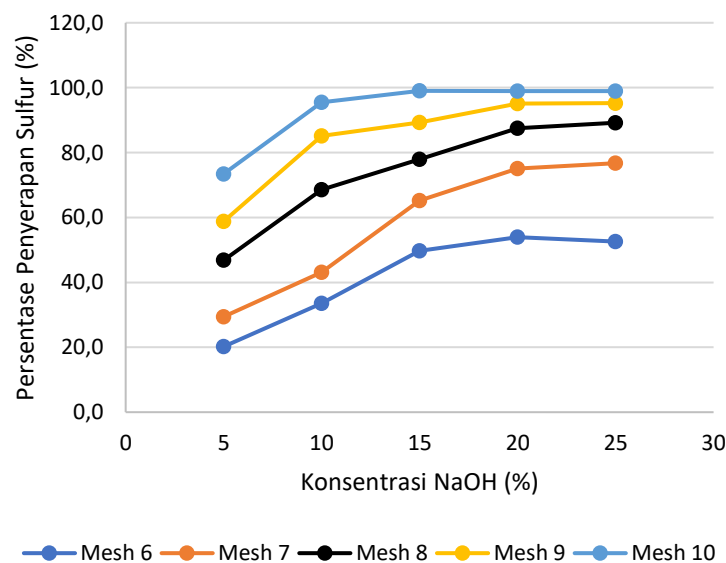
No.	Konsentrasi H ₂ SO ₄ (%)	Persentase Penurunan Konsentrasi Sulfur (%)				
		Ukuran Zeolit (Mesh)				
		6	7	8	9	10
1	5	17,1	22,6	34,7	47,9	61,6
2	10	24,2	34,9	55,5	79,1	90,3
3	15	40,4	57,7	70,6	91,0	97,5
4	20	41,5	55,4	69,9	89,1	96,7
5	25	38,7	53,5	67,2	89,4	96,3

Tabel 3. Persentase Penyerapan Sulfur Menggunakan HCl

No.	Konsentrasi HCl (%)	Persentase Penurunan Konsentrasi Sulfur (%)				
		Ukuran Zeolit (Mesh)				
		6	7	8	9	10
1	5	12,5	18,2	29,7	44,4	58,0
2	10	19,5	26,2	47,2	67,4	74,4
3	15	27,4	34,3	53,4	80,0	86,7
4	20	37,6	42,0	61,3	82,5	88,7
5	25	41,4	45,5	63,5	84,4	90,2

3.2 Pembahasan

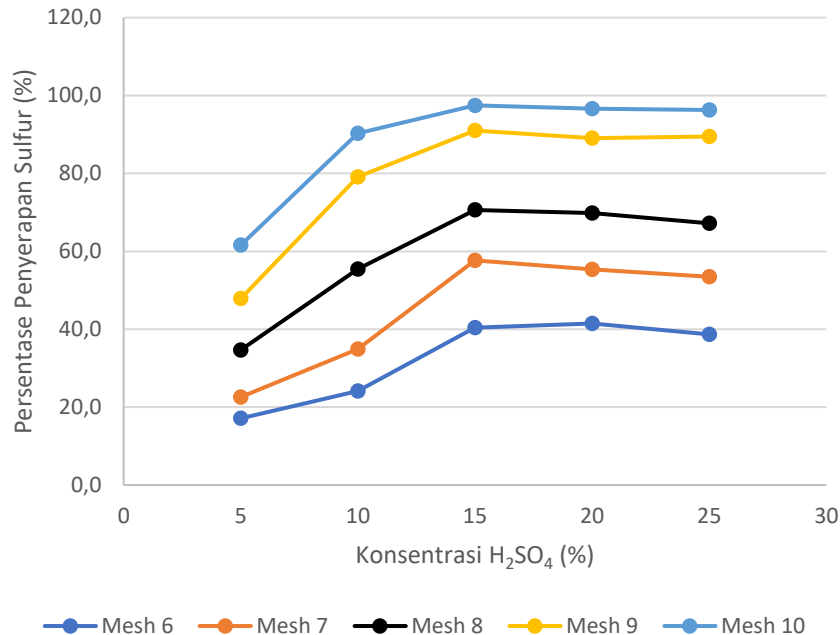
3.2.1 Penyerapan Sulfur Menggunakan NaOH



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Penyerapan Sulfur

Pada Gambar 1 di atas, dapat diketahui bahwa penyerapan sulfur akan semakin baik ketika menggunakan zeolit dengan ukuran yang lebih kecil. Hal ini disebabkan karena luas permukaan pada zeolit semakin luas sehingga pori-pori semakin banyak. Titik optimum penyerapan sulfur terjadi ketika menggunakan zeolit dengan ukuran mesh 10 dan diaktivasi dengan penambahan larutan NaOH 15 %. Sulfur yang diserap sebanyak 8.114 ppm atau sekitar 99,0%.

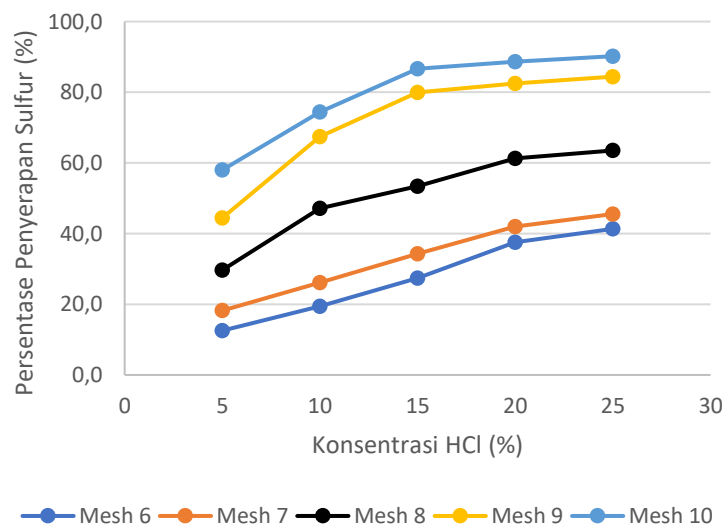
3.2.2 Penyerapan Sulfur Menggunakan H_2SO_4



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap Penyerapan Sulfur

Gambar 2 di atas, terlihat penyerapan sulfur berlangsung sampai dengan penambahan konsentrasi H_2SO_4 15%. Ketika konsentrasi larutan ditambahkan lagi, zeolit tidak mengalami peningkatan dalam penyerapan sulfur. Hal ini dikatakan bahwa zeolit telah mengalami titik jenuh. Titik optimum dalam penyerapan sulfur terjadi ketika zeolit dengan mesh 10 diaktivasi menggunakan larutan H_2SO_4 15 % dengan persentase penyerapan sulfur 97,5 atau dari 8.055 ppm ke 204 ppm.

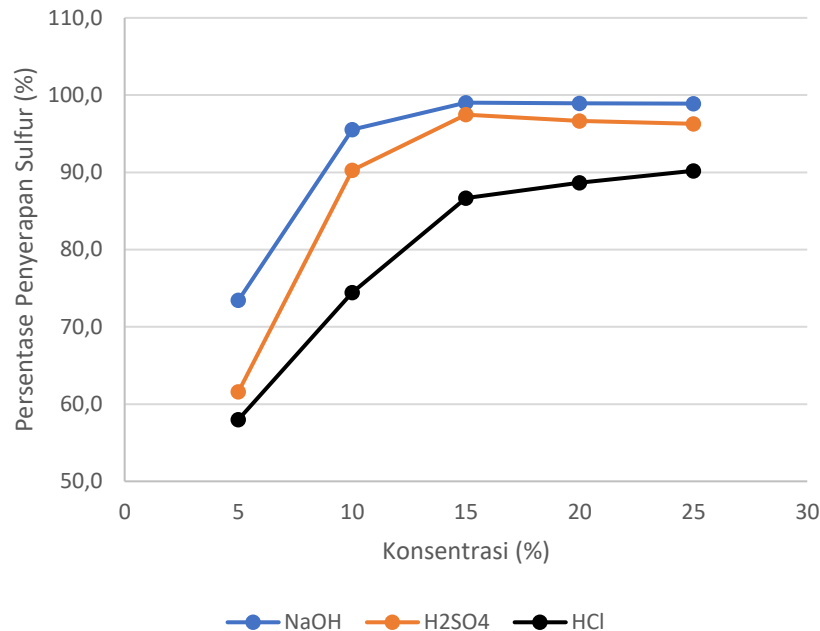
3.2.3 Penyerapan Sulfur Menggunakan HCl



Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi HCL Terhadap Penyerapan Sulfur

Gambar 3 memperlihatkan penyerapan sulfur dengan menggunakan zeolit yang diaktivasi dengan penambahan HCl terjadi ketika menggunakan zeolit dengan ukuran mesh 10 dan HCl 25%. Penyerapan sulfur lebih rendah menggunakan zeolit dan HCl dibandingkan dengan jika menggunakan penambahan NaOH atau H₂SO₄. Persentase penyerapan sulfur sebesar 90,20 atau sebanyak 7.109 ppm.

3.2.4 Titik Optimum Penyerapan Sulfur Dengan Menggunakan Tiga Zat Pengaktif Yang Berbeda



Gambar 4. Pengaruh Jenis Aktivator Terhadap Penyerapan Sulfur

Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa NaOH merupakan zat pengaktif zeolit yang paling baik dalam penyerapan sulfur dibandingkan dengan menggunakan H₂SO₄ dan HCl. Dengan menggunakan NaOH 15%, zeolit mampu menyerap sulfur sebesar 99,0%. Sedangkan dengan menggunakan H₂SO₄ 15%, penyerapan sulfur didapatkan pada 97,5%. Pada Penggunaan HCl 25%, sulfur yang bisa diserap hanya 90,2%..

4 Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

Ukuran zeolit mempengaruhi proses penyerapan sulfur. Semakin kecil ukuran zeolit maka penyerapan sulfur semakin baik karena luas permukaan zeolit semakin besar. Pada penelitian ini, penyerapan sulfur terbaik menggunakan zeolit 10 mesh sebanyak 150 gr. Titik optimum penyerapan sulfur tercapai pada zeolit yang diaktivasi dengan zat pengaktif NaOH dengan konsentrasi NaOH 15%, sulfur yang diserap adalah sebesar 99,0%. Sedangkan dengan H₂SO₄ sebagai zat aktivator zeolit, titik optimum penyerapan sulfur tercapai konsentrasi H₂SO₄ 15%, dengan sulfur yang diserap sebesar 97,5%. Titik optimum penyerapan sulfur pada zeolit yang diaktivasi dengan zat pengaktif HCl tercapai pada konsentrasi HCl 25%, sulfur yang diserap sebesar 90,2%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa titik optimum yang terbaik adalah pada penggunaan zeolit yang diaktivasi dengan zat pengaktif NaOH pada temperatur aktivasi 110oC, berat zeolit 150 gr, ukuran 10 mesh dengan konsentrasi NaOH 15% mampu menyerap sulfur sebesar 99,0%.

4.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan merubah variabel – variabel lain dalam preparasi zeolit. Selain itu, dapat dimodifikasi dengan penyerapan bertingkat agar proses penyerapan sulfur dapat berlangsung lebih baik.

References

- Abd, A. A., Naji, S. Z., & Hashim, A. S. (2020). Effects of Non-Hydrocarbons Impurities on the Typical Natural Gas Mixture Flows Through A Pipeline. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103218>
- Adhi, T. P., Sardenianto, & Indarto, A. (2022). Teknoekonomi Penyingkiran Senyawa Sulfur dari Kondensat Gas Alam dengan Metode Desulfurisasi Oksidatif-Ekstraktif. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(1), 36-48. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.69864>
- Akah, A., & Al-Ghrami, M. (2015). Maximizing Propylene Production Via FCC Technology. *Applied Petrochemical Research*, 5(4), 377-392. <https://doi.org/10.1007/s13203-015-0104-3>
- Asmorowati, D. S., Kristanti, I. I., & Sumarti, S. S. (2023). Adsorpsi Logam Fe pada Limbah Menggunakan Zeolite Alam Teraktivasi Asam Sulfat. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(1), 16-21. <https://doi.org/10.15294/chemined.v10i2.42710>
- Atikah. (2017). Penurunan Bilangan Peroksida pada Minyak Goreng Bekas Menggunakan Adsorben Ca Bentonit. *Jurnal Distilasi*, 2(1), 35-45. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i1.1141>
- Atikah, W. S. (2017). Karakterisasi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil. *Arena Tekstil*, 32(1), 17-24. <https://doi.org/10.31266/at.v32i1.2650>
- Daulay, A. H., Manalu, K., & Masthura. (2019). Pengaruh Kombinasi Media Filter Karbon Aktif dengan Zeolit dalam Menurunkan Kadar Logam Air Sumur. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, 4(2), 91-96. <http://dx.doi.org/10.30829/jistech.v4i2.6543>
- Faputri, A. F., & Setiorini, I. A. (2022). Analysis of Testing Results of Liquid Samples from Drilling Wells in Oil and Gas Industry. *Jurnal Ilmiah Hospitality*, 11(2), 1317-1326. <https://doi.org/10.47492/jih.v11i2.2363>
- Fauziah, N. A., Faeni, D. P., & Fikri, A. W. N. (2024). Pengaruh Learning Agility, Eksplorasi Kompetensi, dan Training terhadap Kinerja Karyawan melalui Komitmen. *Studi Ilmu Manajemen Dan Organisasi*, 5(2), 225-238. doi:10.35912/simo.v5i2.3457
- Fitri, N. F. A., & Arfi, F. (2024). Analisis Kadar Sulfur pada Liquefied Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Instrument Total Sulfur Analyzer. *AMINA*, 6(1), 18-22. <https://doi.org/10.22373/amina.v6i1.4344>
- Herawaty, V., Andrian, P. D., & Oktaviani, A. A. (2022). Peningkatan Kompetensi Dasar Akuntansi Kelompok UMKM (Kompeten) di Bekasi. *Yumary: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2(2), 109-118. [10.35912/yumary.v2i2.937](https://doi.org/10.35912/yumary.v2i2.937)
- Houda, S., Lancelot, C., Blanchard, P., Poinel, L., & Lamonier, C. (2018). Oxidative Desulfurization of Heavy Oils with High Sulfur Content: A Review. *Catalysts*, 8(9), 1-26. <https://doi.org/10.3390/catal8090344>
- Kusumaningrum, D. I. P., Sudarni, D. H. A., & Wahyuningsih, S. (2022). Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 72-79. <https://doi.org/10.32734/jtk.v11i2.9119>
- Laily, D. I., & Maharani, D. K. (2021). Artikel Review: Faktor yang Mempengaruhi Persen Biogasoline Minyak Nabati Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Metode Catalytic Cracking. *Al-Kimia*, 9(1), 89-102. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v9i1.17636>
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 3(2), 67-73. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- Magga, R., Zuchry, M., & Arifin, Y. (2017). Analisis Laju Korosi Baja Karbon Rendah dalam Media Bahan Bakar (Premium dan Peralite). *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2(1), 223-228.
- Muharani, S., & Purba, E. (2023). Mercury (Hg) Adsorption in Traditional Gold Mining Liquid Waste with Activated Carbon from Coffee Ground. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(1), 70-80. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v12i1.67083>
- Muttaqii, M. A., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Yamin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi secara Kimia menggunakan Larutan Asam dan Basa terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 266-271. <https://doi.org/10.26578/jrti.v13i2.5577>

- Ningsih, A. W., Tamboesai, E. M., & Muchtar, A. (2015). Penggunaan Zeolit Alam Teraktivasi pada Perbaikan Kualitas Minyak Jelantah. *Photon: Journal of Natural Sciences and Technology*, 6(1), 97-101. <https://doi.org/10.37859/jp.v6i01.479>
- Risdiyanta. (2015). Mengenal Kilang Pengolahan Minyak Bumi (Refinery) di Indonesia. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 5(4), 46-54.
- Safari, A., & Vesali-Naseh, M. (2019). Design and Optimization of Hydrodesulfurization Process for Liquefied Petroleum Gases. *Journal of Cleaner Production*, 220, 1255-1264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.226>
- Saleh, A., Oktariya, R., & Sarah, Y. A. (2017). Pengaruh Massa Zeolit dan Laju Alir Compressed Natural Gas Terhadap Peningkatan Metana Melalui Proses Pemurnian. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2), 95-103.
- Sarosa, A. H., Samadhi, T. W., & Budiyanto. (2015). Kajian Proses Produksi Katalis Mikrosferik Untuk Perengkahan Minyak Bumi dengan Pengereng Sembur. *Reaktor*, 15(4), 241-247. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.4.241-247>
- Saskiyah, Harjuni, H., & Henny, M. (2024). Deashing Batubara dengan Metode Leaching Menggunakan NaOH dan HCL di PT Bukit Baiduri Energi, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik* 2(4), 197-209. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.412>
- Sigot, L., Ducom, G., & Germain, P. (2016). Adsorption of Hydrogen Sulfide (H₂S) on Zeolite (Z): Retention Mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 287, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.010>
- Suradi, J. P., & Marisa, S. E. (2020). Analisis Dampak Harga Minyak Mentah Dunia, Tingkat Suku Bunga dan Kurs Valuta Asing Terhadap Indeks Harga Saham Pertambangan Periode 2014–2016. *Jurnal Bina Manajemen*, 8(2), 1-17. <https://doi.org/10.52859/jbm.v8i2.84>
- Utami, I. (2017). Aktivasi Zeolit Sebagai Adsorben Gas CO₂. *Jurnal Teknik Kimia*, 11(2), 51-55. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v11i2.831
- Wahyudi, H., & Ramani, F. (2022). Pengaruh Jangka Pendek dan Jangka Panjang Saham Global terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) Periode 2015:M01 - 2020:M12. *Reviu Akuntansi, Manajemen, dan Bisnis*, 2(1), 15-25. doi:[10.35912/rambis.v2i1.1421](https://doi.org/10.35912/rambis.v2i1.1421)
- Widhiyanuriyawan, D., & Hamidi, N. (2013). Variasi Temperatur Pemanasan Zeolite alam-NaOH Untuk Pemurnian Biogas. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 6(1), 53-63.
- Zulfania, F., Fathoni, R. a., & Nur, A. M. (2022). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (Zea Mays). *Jurnal chemurgy*, 6(2), 65-69. <http://dx.doi.org/10.30872/cmgy.v6i2.8060>