

Komposit Zeolit-Polivinil Alkohol sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kesadahan Air Tanah

Anang Takwanto¹, Yanty Maryanty^{1*}, Anugrah Windy Mustikarini¹, Dina Wulan Sari¹, Rizki Kurnia Juliansyah¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Corresponding Author:

Yanty Maryanty

yanty.maryanty@polinema.ac.id

Received: March 2023

Accepted: July 2023

Published: September 2023

©Yanty Maryanty et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

Granular zeolite-polyvinyl alcohol (PVA) composites without glutaraldehyde and zeolite-PVA composites with the addition of glutaraldehyde were carried out in this study and used as adsorbents. This study aims to reduce groundwater hardness, determine the optimum zeolite size in composite mixtures, and determine the characterization of functional groups in composites. The stages of the research included: preparation and activation of zeolite with variations in zeolite sizes of 100, 60 and 45 mesh and variations in composition of zeolite-polyvinyl alcohol 1:1; 1:2; 2:1; 2:3 and 3:2. Furthermore, the preparation of PVA solution concentration of 9% and the formation of the composite. The results showed that the optimum size of the zeolite on the composite without glutaraldehyde was 60 mesh with a decrease in hardness of 68% while the ratio of the optimum zeolite-PVA composition was at a ratio of 3:2 with a decrease in hardness of 34 mg/L. The results of Langmuir and Freundlich isotherm analysis showed the presence of chemical bonds because the determination value (R^2) of the adsorption isotherm was > 0.9 . The results of functional group characterization showed OH⁻ in the zeolite-PVA composite without glutaraldehyde at a wavelength of 3363.01 cm^{-1} while in the composite with glutaraldehyde at a wavelength of 3345.89 cm^{-1} . The C=C functional group appeared at a wavelength of 1628.73 cm^{-1} for the zeolite-PVA composite without glutaraldehyde and 1635.86 cm^{-1} for the composite with glutaraldehyde. At a wavelength of 788.70 cm^{-1} and 794.40 cm^{-1} , the Si-O symmetric stretching vibrations show in the zeolite structure

Keywords: adsorbent, groundwater, zeolite-PVA composite, hardness.

Pendahuluan

Air adalah senyawa yang sangat penting bagi seluruh bentuk kehidupan. Sesuai dengan kegunaannya, air dapat digunakan dalam aktivitas pertanian industri, laboratorium, maupun kebutuhan rumah tangga. Kebutuhan air di laboratorium biasanya digunakan untuk keperluan mencuci peralatan, sebagai

pendingin, air umpan boiler, air *cooling water*, pelarut, untuk membersihkan laboratorium dan bahan baku pembuatan aquades. Air yang digunakan untuk kebutuhan laboratorium harus memenuhi persyaratan diantaranya kandungan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ yang keberadaannya disebut dengan kesadahan air^[1]. Kesadahan pada air tanah yang digunakan untuk kebutuhan laboratorium

dapat menimbulkan permasalahan berupa mengurangi daya aktif sabun, membentuk kerak, dan penyumbatan pipa^[2]. Kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah akan bereaksi dengan sabun sehingga sabun tidak dapat berbusa. Garam karbonat akan larut di dalam air tetapi ketika dipanaskan mengendap didasar ketel sehingga dapat menyebabkan terjadinya *overheating*, dan pemborosan bahan bakar. Salah satu proses yang dapat digunakan untuk menurunkan kesadahan pada air tanah yaitu adsorpsi. Proses adsorpsi memberikan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik lainnya. Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu cairan atau gas sebagai adsorbat, terikat pada padatan atau cairan sebagai adsorben yang akhirnya membentuk lapisan molekul atau atom^[3].

Adsorben yang umum digunakan antara lain zeolit, tanah lempung, karbon aktif, biomassa dan material polimer^[4]. Zeolit digunakan sebagai adsorben karena memiliki struktur kristal alumina silika dengan rongga-rongga yang berisi ion-ion logam. Aktivitas zeolit alam cenderung rendah, sehingga perlu dilakukan aktivasi^[5].

Pada penelitian ini akan dilakukan pembentukan komposit yang digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kesadahan pada air tanah. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material. Kombinasi tersebut menghasilkan material yang diharapkan mempunyai karakteristik yang lebih baik dari material pembentuknya^[6]. Pada komposit terdapat material yang berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Komposit dapat dibuat dari material anorganik dan material organik^[7]. Dengan menggunakan polimer organik diharapkan partikel zeolit yang kecil dapat direkatkan menggunakan polimer dan dapat dicetak serta dibuat sesuai kebutuhan misalnya dalam bentuk granula, pelet, lembaran, *hollow* yang saat ini banyak dikembangkan sebagai membran anorganik (komposit adsorben) pada teknik ultrafiltrasi dalam proses pemisahan kimia. Salah satu polimer organik yang

mempunyai sifat hidrofilik dan sebagai perekat adalah polivinil alkohol^[8].

Pada penelitian yang dilakukan oleh^[8] membuat komposit zeolit-PVA untuk mengetahui sifat mekanik komposit tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi polivinil alkohol dalam campuran berpengaruh sangat nyata terhadap densitas dan kuat tekan komposit. Bila PVA yang ditambahkan sedikit maka rongga yang terbentuk jumlahnya banyak sehingga kekerasannya rendah, dan bila penambahan PVA terlalu banyak maka jumlah rongga yang terbentuk sedikit namun akan mempengaruhi laju alir dan penyerapan ion. Konsentrasi PVA terbaik yaitu 9% dalam campuran komposit zeolit-PVA dengan nilai kekerasan 5H. Komposit ini dapat di pakai untuk pemisahan dengan teknik kolom serta untuk penukaran ion.

Penelitian^[3] melakukan pengembangan komposit polivinil alkohol/zeolit/karbon berstruktur berpori sebagai adsorben. PVA yang digunakan adalah kelas terhidrolisis yang lebih tinggi. Jenis PVA ini memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi (40% hingga 50%), dan dapat meningkatkan daya rekat pada permukaan hidofilik. Selain itu, PVA memiliki gugus hidroksil yang lebih tinggi dalam struktur molekulnya. Zeolit adalah struktur kerangka tetrahedral aluminosilikat yang menyediakan rongga untuk ditempati oleh kation dan molekul air.

Glutaraldehid memiliki gugus aldehida pada kedua ujung strukturnya, yang dapat mengikat dua bahan yang berbeda untuk membentuk bahan yang diinginkan. sehingga pada penelitian ini menggunakan modifikasi dengan penambahan glutaraldehid sebagai pengikat silang untuk memperkuat sifat mekanik komposit zeolit-PVA.

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini *Polivinyl Alcohol* (PVA) akan ditambahkan pada zeolit untuk membentuk komposit dengan gugus hidroksil yang kaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit adsorben zeolit-PVA yang memiliki ikatan

kimia yang baik antara kedua zat pembentuk komposit tersebut. Pada penelitian ini menggunakan dua kombinasi material berupa material organik yaitu PVA dan anorganik yaitu zeolit untuk mendapatkan kemampuan komposit yang dapat menurunkan kesadahan pada air tanah dan dilakukan modifikasi dengan penambahan glutaraldehid sebagai *crosslinker*.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan penurunan kesadahan menggunakan komposit zeolit-PVA yang diaktivasi dan modifikasi menggunakan glutaraldehid sebagai adsorben, sehingga dapat menjadi alternatif bagi berbagai pihak untuk menurunkan kesadahan air tanah dengan bahan yang lebih ramah lingkungan.

Metodologi Penelitian

Bahan kimia

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Zeolit Blitar dengan kandungan silika 76.67% dan alumina 13.58%^[9], PVA dengan kemurnian 88%, HCl 37% dari merk , glutaraldehid 25% dari merk, akuades, buffer pH 10, indikator EBT dari merk , etanol 96% dari smartlab, Na₂EDTA dari merk, CaCO₃ dari merk.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu erlenmeyer, gelas beaker, labu ukur, blender, mortar dan alu, batang pengaduk, timbangan analitik, pipet tetes, pipet volume, pipet ukur, *hot plate*, oven, *furnace*, kaca arloji, cawan porselin, *magnetic stirrer*, buret, satatif dan klem, AAS merk shimadzu AA-6200, FTIR merk shimadzu model IRSpirit-T.

Prosedur penelitian

Preparasi dan Aktivasi Zeolit

Bongkahan zeolit diperkecil ukurannya dengan blender kemudian diayak dengan *screening* ukuran 100, 60 dan 45 mesh. Zeolit diaktivasi menggunakan HCl 1 N selama 80 menit dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu zeolit dicuci dengan akuades hingga pH netral. Zeolit

disimpan dalam wadah yang bersih dan terlindung dari cahaya untuk menghindari kerusakan.

Kalsinasi

Zeolit ukuran 100, 60, dan 45 mesh yang sudah diaktivasi dengan HCl 1 N selanjutnya dikalsinasi dalam oven pada suhu 300°C selama 2 jam. Zeolit tersebut kemudian didinginkan dan disimpan didalam wadah tertutup untuk digunakan lebih lanjut pada pembuatan komposit.

Pembuatan Larutan PVA

Sebanyak 100 mL akuades dipanaskan pada suhu 80°C kemudian tambahkan 9 gram polivinil alkohol (PVA) sedikit demi sedikit dan dilakukan pengadukan selama 2 jam hingga PVA larut sempurna.

Pembuatan Komposit Zeolit-PVA

Pada pembuatan komposit dilakukan variasi perbandingan massa zeolit-PVA yaitu 1:1; 1:2; 2:1; 2:3; dan 3:2 w/w. Campuran diaduk rata hingga bisa dibentuk granul. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi komposit dengan penambahan glutaraldehid sebelum dibentuk granul. Komposit dimasukkan kedalam oven pada suhu 100°C. Setelah itu komposit digunakan untuk proses adsorpsi dengan metode kolom.

Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan metode kolom. Proses adsorpsi dilakukan secara kontinyu dengan tinggi adsorben 7 cm dan laju alir 4 mL/menit dengan volume air tanah sebanyak 200 ml. skema proses adsorpsi dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.

Pengukuran

Pada penelitian ini digunakan analisis titrasi kompleksometri dan spektrofotometri serapan atom (SSA) untuk mengetahui penurunan tingkat kesadahan. Sedangkan untuk

mengetahui gugus fungsi komposit digunakan analisis *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

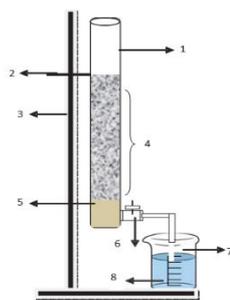
Hasil dan Diskusi

Preparasi dan aktivasi zeolit

Zeolit yang berasal dari alam masih memiliki banyak pengotor, sehingga perlu dilakukan aktivasi zeolit secara fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan cara menggiling zeolit sehingga didapatkan ukuran zeolit yang lebih kecil dan konsisten. Kemudian zeolit diayak menggunakan *screening* pada ukuran 100, 60 dan 45 mesh. Pada gambar 2 menunjukkan hasil *screening* zeolit alam.

Pada penelitian ini aktivasi kimia dilakukan dengan penambahan larutan asam yaitu HCl

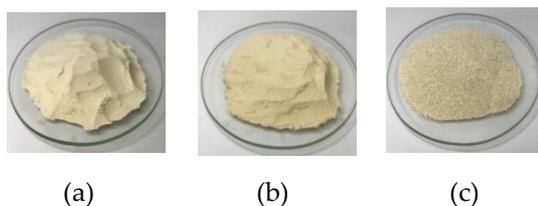
1N untuk membersihkan pori, menghilangkan senyawa pengotor dan menyusun kembali letak atom. Pada penelitian yang dilakukan Mukti, *et al* (2016) menyebutkan bahwa pengaktifan dengan asam bertujuan agar terjadi proses dealuminasi dan dekationisasi yaitu lepasnya Al dan kation-kation pada kerangka zeolit^[10]. Dealuminasi dan dekationisasi terjadi karena reaksi antara HCl dengan alumina membentuk $AlCl_3$ dan MCl_n ^[11]. Kandungan Al yang tinggi pada kerangka zeolit membuat zeolit bersifat hidrofilik. Sifat hidrofilik dan polar pada zeolit akan menjadi penghambat kemampuan penjerapannya. Tujuan dealuminasi adalah untuk mengoptimalkan kandungan aluminium pada zeolit sehingga zeolit memiliki selektivitas, mengontrol keasaman, dan menjadi lebih stabil pada temperature tinggi.



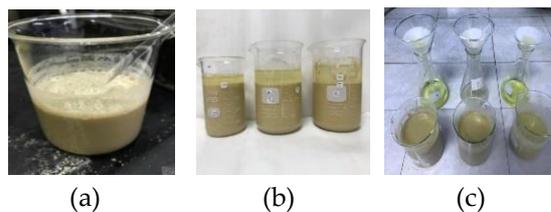
Gambar 1. Seperangkat Kolom Adsorpsi

Keterangan:

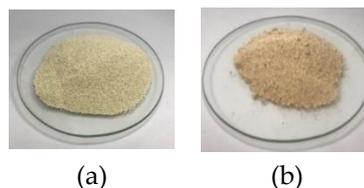
1. Kolom Adsorpsi diameter 2,6 cm dan Panjang 40 cm
2. Klem
3. Statif
- 4 Air Tanah
5. Komposit zeolit-Polivinil alkohol
6. Keran
7. Gelas Beaker
8. Air tanah yang sudah diadsorpsi



Gambar 2. Hasil Screening Zeolit ; (a) 100 mesh, (b) 60 mesh, (c) 45 mesh



Gambar 3. Proses Aktivasi Zeolit ; (a) Pengadukan Zeolit, (b)Perendaman (c) Pencucian



Gambar 4. Hasil Kalsinasi; (a) Sebelum Kalsinasi, (b) Sesudah Kalsinasi

Dealuminasi merupakan proses perusakan struktur kerangka zeolit dimana terjadi pemutusan Al dalam kerangka (*Al framework*) menjadi Al luar kerangka (*Al non-framework*) yang mengakibatkan rasio Si/Al semakin meningkat. Zeolit alam memiliki struktur yang tidak selalu sama tergantung kondisi pembentukannya di alam dan ini berbeda dengan zeolit sintesis dimana strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya. Proses aktivasi zeolit diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit dan menghilangkan unsur pengotor yang terkandung didalam zeolit alam^[11]. Hasil sebelum perlakuan aktivasi zeolit alam dengan cara perendaman zeolit menggunakan HCl 1N ditunjukkan pada Gambar 3 dimana sebelum didiamkan selama 24 jam dilakukan pengadukan terlebih dahulu yang bertujuan untuk menghomogenkan zeolit dan larutan HCl.

Hasil kalsinasi pada zeolit terdapat perubahan warna dari sebelum dan sesudah dikalsinasi yang tampak pada Gambar 4. Hal ini terjadi karena selama proses kalsinasi zeolit pada temperatur 300°C terjadi penguraian material organik. Perubahan warna zeolit ini terjadi karena proses terbakarnya matriks yang menunjukkan hilangnya zat organik pada zeolit.

Setelah melakukan preparasi terhadap zeolit alam dilanjutkan dengan pembuatan larutan polivinil alkohol untuk membentuk komposit. Polivinil alkohol yang digunakan memiliki tingkat hidrolisis 88% sehingga tidak mudah larut dalam suhu ruang. Oleh sebab itu, polivinil alkohol dilarutkan pada suhu diatas 72°C. Kehadiran gugus -OH dalam PVA meningkatkan titik didih senyawa karena gugus -OH dari setiap PVA dapat membentuk ikatan hidrogen. Dimana ikatan hidrogen akan meningkatkan titik didih senyawa karena ikatannya lebih kuat. Oleh karena itu, PVA dapat meleleh pada suhu di atas 72°C. Pada suhu tersebut, ikatan antara gugus-gugus alkohol (-OH) pada PVA menjadi lebih lemah, sehingga memungkinkan PVA untuk melarutkan diri dalam pelarut. Pemanasan pada suhu di atas 72 °C memungkinkan PVA menjadi lebih fleksibel dan membantu memisahkan ikatan antar-molekul PVA, sehingga PVA dapat bercampur dengan zeolit alam dengan lebih baik.^[12] Gugus -OH pada PVA juga memberikan sifat khusus pada senyawa tersebut. Gugus -OH pada tiap molekul PVA dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul-molekul lainnya. Ikatan hidrogen adalah tipe ikatan intermolekuler yang kuat dan membutuhkan energi yang cukup besar untuk diputus. Keberadaan ikatan hidrogen ini akan meningkatkan titik didih senyawa, karena

energi yang dibutuhkan untuk memisahkan molekul-molekul tersebut lebih tinggi.^{[3][13]}. Oleh karena itu, PVA memiliki titik leleh di atas 72 °C. Pada suhu di atas titik lelehnya, PVA akan meleleh dan menjadi cair, memungkinkan difusi dan pencampuran dengan zeolit alam yang telah disiapkan sebelumnya. Proses pencampuran ini akan memungkinkan interaksi antara zeolit alam dan PVA, sehingga membentuk komposit dengan sifat dan karakteristik yang diinginkan.

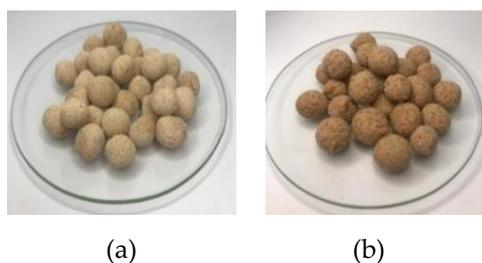
Zeolit yang sudah diaktivasi ditambahkan kedalam PVA, variasi perbandingan yang digunakan yaitu 1:1, 1:2, 2:1, 2:3, 3:2. Hasil pembentukan komposit hingga adsorpsi air tanah dapat dilihat pada Gambar 5. Pada proses pembentukan zeolit-PVA tanpa glutaraldehid, zeolit tidak membentuk *cross linking* dengan PVA karena ikatan antara zeolit dan PVA adalah ikatan secara fisika, dimana PVA berfungsi sebagai binder/perekat^[8]. PVA berfungsi sebagai perekat yang merekatkan partikel zeolit satu dengan partikel zeolit lainnya. Bila PVA yang ditambahkan sedikit maka rongga yang terbentuk jumlahnya banyak sehingga kekerasannya rendah. Penambahan PVA terlalu banyak maka jumlah rongga yang terbentuk sedikit.

Pada Gambar 5(a) komposit sebelum diaplikasikan artinya komposit belum dilewatkan dengan air tanah untuk menurunkan kesadahan. Sedangkan pada Gambar 5(b) komposit sesudah diaplikasikan artinya komposit sudah dilewatkan oleh air tanah untuk menurunkan kesadahan. Komposit yang digunakan untuk proses adsorpsi sebanyak 20 gram. Selanjutnya air

tanah yang sudah dilewatkan komposit dilakukan uji kompleksometri untuk mengetahui seberapa besar penurunan kesadahannya dan dilakukan validasi penurunan Ca^{2+} dan Mg^{2+} menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

Titration Kompleksometri

Analisis sampel pada penelitian ini dilakukan dengan metode titrasi kompleksometri, dimana EDTA berperan sebagai titran untuk membentuk senyawa kompleks, pH untuk titrasi adalah 10 dengan penambahan buffer dan indikator yang digunakan adalah eriochrome black T (EBT). EBT berubah warna menjadi merah ketika membentuk kompleks dengan Ca^{2+} dan Mg^{2+} atau ion logam lainnya. EBT akan membentuk kompleks ion logam dengan EDTA sehingga titik ekuivalen titrasi mengalami perubahan warna dari merah menjadi biru. Pada metode kompleksometri semua ion-ion penyebab kesadahan habis bereaksi dengan EDTA sehingga dengan metode tersebut menunjukkan total kesadahan pada air tanah. EBT memiliki sifat khusus di mana ia berubah warna menjadi merah ketika membentuk kompleks dengan ion logam seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Perubahan warna ini dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi ion logam dalam sampel. Ketika EBT berinteraksi dengan ion logam yang spesifik, terjadi perubahan konformasi struktural yang menghasilkan perubahan warna menjadi merah. Namun, EBT juga dapat membentuk kompleks dengan EDTA (asam etilenediaminatetraasetat).



(a)

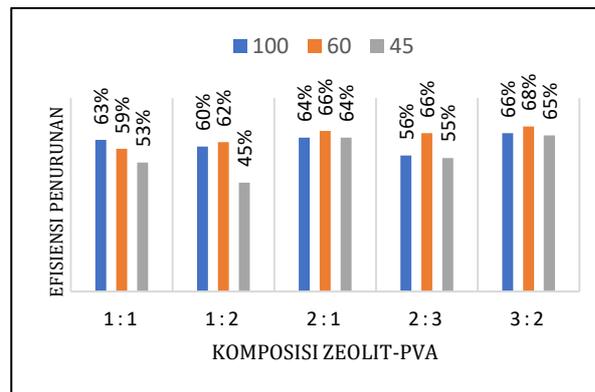
(b)

Gambar 5. Komposit Zeolit-PVA (a) Sebelum diaplikasikan (b) Sesudah diaplikasikan

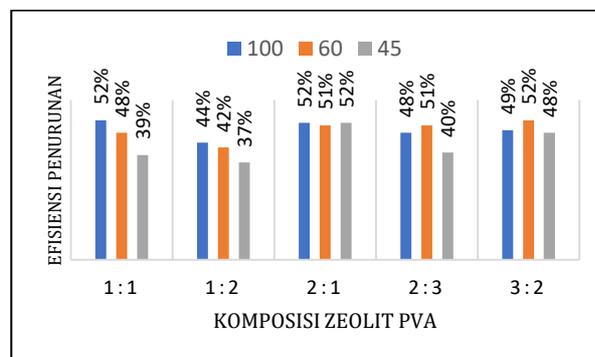
EDTA adalah suatu senyawa kompleks yang memiliki sifat kelat, yaitu mampu membentuk kompleks dengan ion logam dengan membungkus ion logam di dalam cincin kelatnya. Ketika EDTA ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung EBT dan ion logam seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} , EDTA akan membentuk kompleks ion logam dengan ion logam tersebut. Ketika terjadi kompleksasi antara EBT dan EDTA, terjadi perubahan dalam sistem kimia yang mengakibatkan perubahan warna dari merah (akibat kompleksasi EBT dengan ion logam) menjadi biru. Perubahan warna ini digunakan sebagai indikator untuk titik ekuivalen dalam titrasi kompleksometri menggunakan EDTA. Titik ekuivalen adalah titik di mana jumlah EDTA yang ditambahkan ke dalam sampel secara stoikiometri sama dengan jumlah ion logam yang hadir dalam sampel. Pada titik ini, semua ion-ion penyebab kesadahan dalam sampel habis bereaksi

dengan EDTA. Dalam metode kompleksometri, semua ion-ion penyebab kesadahan dalam air tanah bereaksi dengan EDTA. Oleh karena itu, metode ini memungkinkan penentuan total kesadahan dalam air tanah. EDTA berperan sebagai agen kompleksometri yang mengikat ion-ion penyebab kesadahan, membentuk kompleks yang larut dalam larutan. Perubahan warna dari merah menjadi biru saat kompleksasi dengan EDTA membantu menunjukkan bahwa ion-ion penyebab kesadahan telah bereaksi dan terlarut dalam larutan, sehingga dapat diukur atau dititrasi untuk menentukan konsentrasi ion logam dalam sampel [14][15].

Dapat dilihat pada Gambar 6, komposit zeolit-PVA tanpa glutaraldehid dapat menurunkan kesadahan dengan kecenderungan semakin banyak PVA yang ditambahkan maka kemampuan adsorpsi semakin rendah.



Gambar 6. Grafik Hubungan Efisiensi Penurunan Kesadahan Air Tanah dengan Komposit Zeolit (ukuran 100, 60, 45 mesh)-PVA Tanpa Glutaraldehid



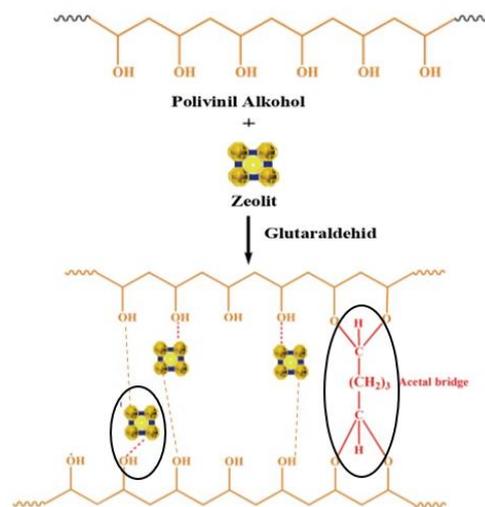
Gambar 7. Grafik Hubungan Efisiensi Penurunan Kesadahan Air Tanah dengan Komposit Zeolit (ukuran 100, 60, 45 mesh)-PVA dengan Glutaraldehid

Berdasarkan hasil penurunan kesadahan oleh komposit zeolit-PVA tanpa glutaraldehid didapatkan hasil penurunan kadar kesadahan paling tinggi yaitu komposit dengan ukuran zeolit 60 mesh dan perbandingan zeolit-PVA sebesar 3:2 dengan kemampuan adsorpsi sebesar 68%. Hasil ini berkaitan dengan rongga yang terbentuk pada komposit saat zeolit ditambahkan PVA. Adanya rongga-rongga udara atau oksigen mengakibatkan hambatan pada polimerisasi radikal^[8].

Pada komposit zeolit-PVA terikat silang glutaraldehid menghasilkan komposit yang lebih kuat dan tidak mudah larut. Semakin tinggi konsentrasi glutaraldehid yang digunakan sebagai pengikat silang, derajat pengembangannya semakin rendah dan tidak mudah larut^[16]. Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa kemampuan komposit dengan glutaraldehid dalam menurunkan kesadahan air tanah lebih rendah dari komposit tanpa glutaraldehid. Dari hasil penurunan kesadahan maupun kemampuan adsorpsi komposit diketahui bahwa komposit tanpa glutaraldehid mempunyai kemampuan lebih baik daripada komposit terikat silang glutaraldehid. Hal ini berkaitan dengan sifat hidrofilik glutaraldehid yang sangat tinggi sehingga komposit lebih mudah menyerap air karena strukturnya yang hidrofilik. Sifat hidrofilik dari komposit merupakan hambatan dalam kemampuan penyerapannya. Salah satu alasan utama untuk perbedaan ini adalah sifat hidrofilik yang tinggi dari glutaraldehid. Hidrofilik berarti memiliki afinitas yang tinggi terhadap air atau mudah larut dalam air. Ketika glutaraldehid digunakan sebagai agen pengikat dalam pembuatan komposit, sifat hidrofiliknya akan mempengaruhi struktur dan sifat komposit. Struktur hidrofilik glutaraldehid cenderung menyebabkan komposit memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih tinggi. Karena strukturnya yang hidrofilik, komposit akan lebih mudah menyerap air dan memiliki kandungan air yang lebih tinggi. Sifat hidrofilik komposit dapat menjadi hambatan dalam kemampuan penyerapan atau adsorpsi zat lain yang diinginkan. Pada sisi lain, komposit tanpa

glutaraldehid cenderung memiliki sifat hidrofilik yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena glutaraldehid tidak digunakan dalam pembuatan komposit tersebut. Dengan demikian, komposit tanpa glutaraldehid memiliki struktur yang kurang hidrofilik dan cenderung memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih rendah. Namun, meskipun komposit tanpa glutaraldehid memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih rendah, hal ini juga berarti bahwa komposit tersebut memiliki potensi yang lebih baik untuk penyerapan atau adsorpsi zat lain yang diinginkan. Karena komposit tersebut memiliki sifat hidrofilik yang lebih rendah, komposit tersebut mungkin lebih mampu menyerap zat non-air, seperti senyawa organik atau zat polutan tertentu, yang ingin dihilangkan atau ditangkap dari lingkungan^[17].

Kekuatan mekanik komposit menunjukkan *compressive strength* meningkat dengan penambahan glutaraldehid. Sehingga pada pembentukan zeolit dengan penambahan 1 ml glutaraldehid, zeolit dan PVA membentuk *crosslinking* glutaraldehid yang ditunjukkan pada Gambar 8. Peningkatan *compressive strength* komposit disebabkan oleh semakin banyak jumlah jaringan ikatan yang terbentuk antara gugus hidroksil dalam keadaan bebas dari polimer PVA^[17]. Penambahan glutaraldehid menghasilkan pembentukan ikatan asetal dari interaksi gugus aldehida dengan gugus -OH dari PVA meningkat. Ikatan asetal yang terbentuk merupakan indikasi adanya peningkatan kerapatan jaringan, yang membuat struktur komposit lebih kaku dan padat, sehingga meningkatkan *compressive strength*. Hasil penelitian Wiyantoko^[17] menyatakan bahwa kapasitas adsorpsi dari komposit termodifikasi glutaraldehid, mengalami penurunan. Hal ini disebabkan berkurangnya gugus-gugus hidroksil PVA dalam keadaan bebas sehingga mengurangi ikatan hidrogen yang terbentuk dengan molekul air. Ikatan hidrogen yang berkurang berkaitan erat dengan penurunan kapasitas adsorpsi komposit.



Gambar 8. Ikatan Zeolit-PVA dengan Glutaraldehyd

Tabel 1. Data Analisa Air Tanah Hasil Adsorpsi Oleh Komposit Zeolit-PVA

No.	Kode	Parameter	Hasil Analisa	
			Kadar	Satuan
1	A ₀	Ca ²⁺	92.19	mg/L
2	A ₁	Ca ²⁺	53.91	mg/L
3	B ₁	Ca ²⁺	66.41	mg/L
4	A ₀	Mg ²⁺	33.94	mg/L
5	A ₂	Mg ²⁺	25.56	mg/L
6	B ₂	Mg ²⁺	28.26	mg/L

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Pada penelitian ini analisa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) digunakan untuk mengetahui jumlah penurunan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ pada air tanah. Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil penurunan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ nilainya berbeda-beda. Pada kode A₀ menunjukkan hasil analisa air tanah sebelum dilakukan proses adsorpsi sehingga kadar kesadahan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ memiliki kadar kesadahan paling tinggi. Sedangkan pada Kode A dan B menunjukkan hasil analisa pada air tanah sesudah diadsorpsi menggunakan komposit zeolit-PVA sehingga mengalami penurunan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺. Kode A₁ dan A₂ adalah hasil analisa air tanah menggunakan komposit zeolit-PVA tanpa penambahan

glutaraldehyd. Komposit zeolit-PVA tanpa penambahan glutaraldehyd memiliki nilai kesadahan ion Ca²⁺ lebih tinggi daripada ion Mg²⁺. Selanjutnya pada kode B₁ dan B₂ adalah hasil analisa pada air tanah menggunakan komposit zeolit-PVA dengan penambahan glutaraldehyd.

Mekanisme penyerapan (adsorpsi) ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ dalam komposit zeolit-PVA yaitu air tanah yang mengandung ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ akan mengalir pada kolom dan melewati komposit zeolit-PVA. Disini akan terjadi pertukaran ion antara ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ dalam air tanah dengan ion Na dalam komposit zeolit-PVA.

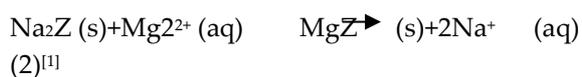
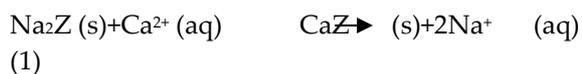
Tabel 2. Isoterm Langmuir dan Freundlich (tanpa glutaraldehid)

mesh	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	R ²	K _L	Q _{max}	R ²	K _f	1/n _f
100	0.99	0.02	24.04	0.99	0.09	-0.64
60	0.99	0.01	30.58	0.98	0.11	-0.56
45	0.98	0.02	15.02	0.98	0.05	-0.79

Tabel 3. Isoterm Langmuir dan Freundlich (dengan glutaraldehid)

mesh	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	R ²	K _L	Q _{max}	R ²	K _f	1/n _f
100	0.99	0.03	8.69	0.99	0.99	-1.07
60	0.99	0.03	7.65	0.98	0.99	-1.15
45	0.99	0.03	6.17	0.98	0.99	-1.26

Kondisi ini terus berlangsung hingga ion Na sudah habis ditukar dengan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺, yang artinya komposit zeolit-PVA telah jenuh dan tidak dapat lagi melakukan pertukaran ion^[1]. Adapun Reaksi pada proses penurunan kesadahan air tanah adalah:



Isoterm Langmuir dan Freundlich

Hasil perhitungan menggunakan model isoterm Freundlich dan Langmuir bertujuan untuk mengetahui ikatan yang terjadi pada proses adsorpsi penurunan kesadahan air tanah oleh komposit zeolit-PVA. Dalam perhitungan isoterm Freundlich dan Langmuir digunakan data berupa data kesadahan total (Ce) dan kapasitas adsorpsi (Qe). Pada perhitungan isoterm freundlich data yang diperoleh diplot dengan log Qe sebagai sumbu y dan log Ce sebagai sumbu x. Grafik yang diperoleh adalah garis linear dengan slope = 1/n dan intercept = log K_f. Sedangkan pada perhitungan isoterm Langmuir grafik diperoleh

dengan mengeplot data 1/Qe sebagai sumbu y dan 1/Ce sebagai sumbu x. dari hasil plot data tersebut akan diperoleh persamaan garis (y = bx + a) yang akan menentukan nilai Q_{max} dan K_L, dimana Q_{max} adalah 1/a sedangkan nilai K_L adalah nilai b.

Tabel 2 diatas menunjukkan ikatan yang terjadi pada proses adsorpsi oleh komposit zeolit-PVA tanpa penambahan glutaraldehid didominasi oleh ikatan kimia karena nilai R² model isoterm Langmuir mendekati angka 1. Sedangkan pada tabel 3 menunjukkan model isoterm Freundlich dan Langmuir pada komposit zeolit-PVA terikat silang glutaraldehid. Tabel tersebut menunjukkan ikatan yang terjadi pada proses adsorpsi oleh komposit zeolit-PVA terikat silang glutaraldehid didominasi oleh ikatan kimia karena nilai R² model isoterm Langmuir mendekati angka 1.

Pada permukaan heterogen terjadi proses adsorpsi non ideal yang digambarkan oleh isoterm freundlich. Hal ini dikarenakan terjadi perbedaan gugus fungsi pada permukaan adsorben. Apabila nilai 1/n_f mendekati nol, maka permukaan adsorben semakin heterogen^[18]. Pada proses adsorpsi air tanah

oleh komposit zeolit-PVA, nilai n_f menjauhi nol dan kurang dari 10, artinya adsorpsi terjadi pada permukaan homogen.

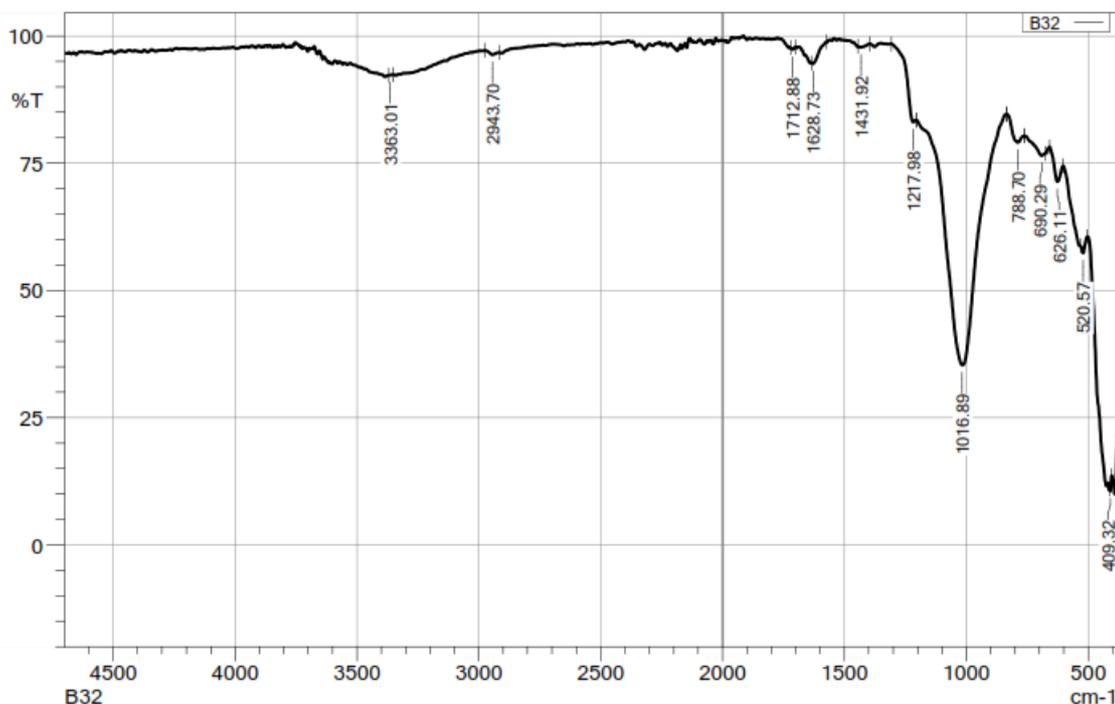
Proses adsorpsi terjadi pada permukaan spesifik yang homogen berdasarkan asumsi Isoterm Langmuir [19]. Tipe isotermal ditandai dengan nilai dari parameter K_L , jika nilai $K_L=0$ menunjukkan adsorpsi bersifat irreversible. Pada model isoterm Langmuir yang ditunjukkan pada tabel 2 dan 3 didapatkan nilai $K_L=0$ sehingga adsorpsi bersifat irreversible. Pada tabel 2 dan 3 menunjukkan nilai K_L yang artinya adsorbat dapat lebih banyak diserap oleh adsorben karena afinitasnya lebih kuat. Dari grafik isoterm langmuir juga diperoleh nilai Q_{max} , dimana Q_{max} adalah kapasitas adsorpsi maksimum. Pada variasi ukuran zeolit yang dapat dilihat dari Tabel 2 dan 3, Q_{max} terbesar diperoleh pada ukuran 100 mesh, ini berarti semakin kecil ukuran zeolit maka daya adsorpsinya semakin meningkat karena luas permukaan partikel zeolit semakin besar. Sedangkan pada variasi tanpa penambahan glutaraldehid dan dengan penambahan glutaraldehid, Q_{max} terbesar

diperoleh pada komposit tanpa penambahan glutaraldehid. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan glutaraldehid menyebabkan adanya ikatan silang antara komposit dengan glutaraldehid sehingga jaringan yang ada dikomposit menjadi lebih rapat dan berdampak pada daya adsorpsi yang menurun.

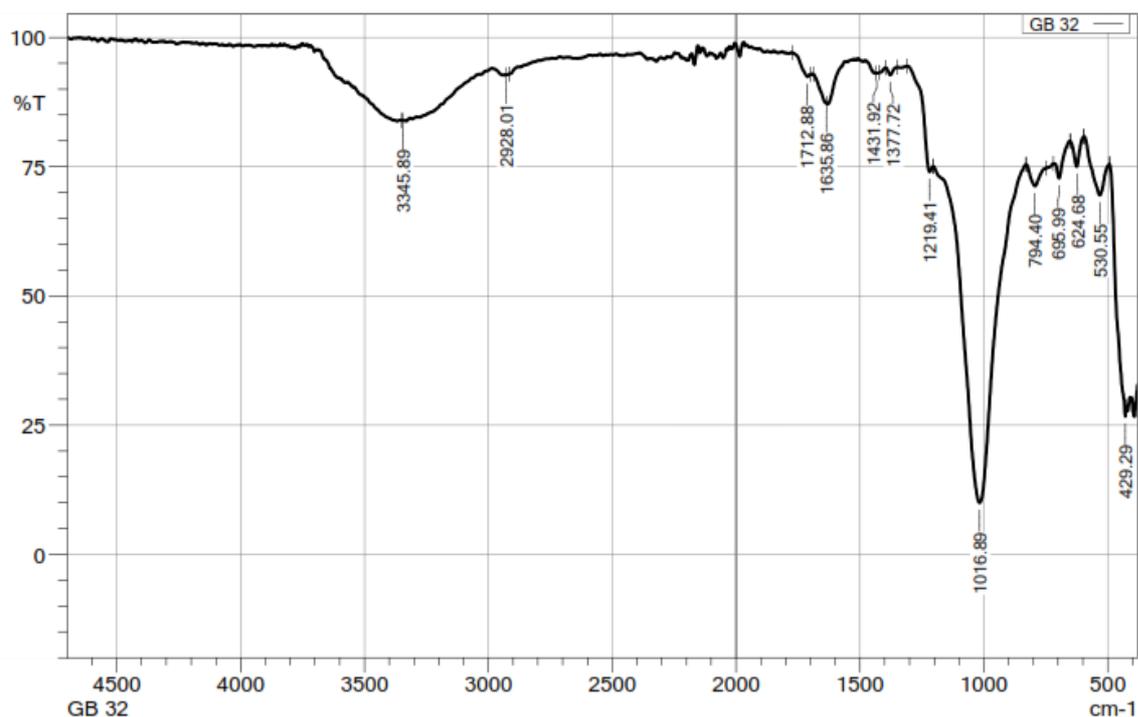
Fourier Transform Infrared (FT-IR)

Hasil grafik spektrum analisa karakteristik FT-IR komposit zeolit-PVA ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Gambar 9 menunjukkan hasil karakterisasi pada komposit zeolit-PVA tanpa penambahan glutaraldehid dan Gambar 10 menunjukkan hasil karakterisasi komposit dengan glutaraldehid.

Pada daerah serapan 3000-3650 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur -OH hidroksil pada struktur komposit. Vibrasi ulur -OH hidroksil dalam penelitian ini berada pada daerah 3363.01 cm^{-1} untuk komposit tanpa penambahan glutaraldehid. Vibrasi ulur -OH hidroksil untuk komposit dengan penambahan glutaraldehid berada pada daerah 3345.89 cm^{-1} .



Gambar 9. Grafik Spektrum Komposit Zeolit-PVA Tanpa Penambahan Glutaraldehid



Gambar 10. Grafik Spektrum Komposit Zeolit-PVA dengan Penambahan Glutaraldehid

Tabel 4. Bilangan gelombang FT-IR

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Komposit Zeolit-PVA		
	Tanpa Glutaraldehid	Dengan Glutaraldehid	Literatur
Vibrasi ulur -OH	3363.01	3345.89	3000-3650
C=C	1628.73	1635.86	1575-1650
Vibrasi ulur asimetri Si-O	1016.89	1016.89	950-1250
Vibrasi ulur simetri Si-O	788.70	794.40	788.3

Pada rentang panjang gelombang tersebut, menunjukkan bahwa hidrogen dari PVA berikatan dengan zeolit. Pembentukan ikatan hidrogen pada komposit ini memiliki peran penting dalam mengubah sifat-sifat material, terutama pada peningkatan kekuatan mekanik material. Peningkatan sifat mekanik sangat berpengaruh terhadap kemampuan ketahanan adsorben selama proses adsorpsi berlangsung.

Perbedaan serapan pada bilangan gelombang 1628.73 cm⁻¹ menjadi 1635.86 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsional C=C. Adanya perbedaan serapan gugus C=C disebabkan oleh interaksi antara gugus amina dari zeolit dengan molekul glutaraldehid^[20]. Pada bilangan gelombang 1016.89 cm⁻¹ menunjukkan regangan asimetri Si-O dalam struktur zeolit. Pada panjang gelombang 788.70 cm⁻¹ dan 794.40 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi ulur simetri Si-O dalam struktur zeolit.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan komposit zeolit-PVA yang digunakan sebagai adsorben dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran partikel zeolit berpengaruh terhadap penurunan kesadahan, semakin besar ukuran partikel zeolit maka penurunan kesadahan kurang baik sedangkan semakin kecil ukuran partikel zeolit maka penurunan kesadahan juga kurang baik, pada penelitian ini ukuran partikel yang mampu menurunkan kesadahan paling baik yaitu ukuran 60 mesh. Perbandingan komposisi zeolit-PVA juga berpengaruh terhadap penurunan kesadahan, semakin banyak PVA yang ditambahkan maka kemampuan adsorpsi semakin rendah. Jika PVA yang ditambahkan sedikit maka kemampuan adsorpsi semakin tinggi. Komposisi optimum komposit zeolit-PVA yaitu 3:2 dengan ukuran zeolit 60 mesh dapat menurunkan kesadahan sebesar 68%.

Hasil analisis Fourier Transform Infrared FT-IR pada panjang gelombang $3363,01\text{ cm}^{-1}$ untuk komposit tanpa penambahan glutaraldehyd sedangkan komposit dengan penambahan glutaraldehyd berada pada daerah $3345,89\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan antara PVA dengan zeolit karena terdapat ikatan hidrogen dan peregangan gugus -OH. Selain itu terjadi perbedaan panjang gelombang pada komposit zeolit-PVA tanpa glutaraldehyd pada daerah $1628,73\text{ cm}^{-1}$ dan komposit zeolit-PVA terikat silang glutaraldehyd pada daerah $1635,86\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya interaksi gugus C=C dari PVA dengan glutaraldehyd.

Ucapan terima kasih

Kami berterima kasih kepada Politeknik Negeri Malang yang telah mendukung penelitian ini. Membiayai penelitian ini melalui dana dipa penelitian terapan Nomor SP DIPA-023.18.2.677606/2022, Politeknik Negeri Malang.

Daftar Pustaka

- Marsidi R., Zeolit untuk Mengurangi Kesadahan Air. *J. Teknol. Lingkung.*, **2(1)**: 1–10 (2001).
- Budiman. & Mentarianata, C., Efektifitas Abu Sekam Padi Sebagai Biofilter Zat Kapur (CaCO_3) pada Air Sumur Gali di Jalan Domba Kelurahan Talise. *Higiene*, **1(1)**: 9–13 (2015).
- Laksmono, J. A., Sudibandriyo, M., Saputra, A. H. & Haryono, A., Development of porous structured polyvinyl alcohol/zeolite/carbon composites as adsorbent. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **201(1)**: (2017).
- Raziah, C., Putri, Z., Rahmi Lubis, A. & Mulyati, S., Penurunan Kadar Logam Dalam Air Kadmium Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Aceh Removal of Cadmium From Water Using Natural Zeolite Aceh. *J. Tek. Kim. USU*, **6(1)**: 1 (2017).
- Las, T., Firdiyono, F. & Hendrawan, A., Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal. *J. Kim. Val.*, **2(2)**: (2011).
- Suhdi., Sandra, M. & Firlya, R., Analisa Kekuatan Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa (Cocos Nucifera) Untuk Pembuatan Panel Panjat Tebing Sesuai Standar Bsapi. *Mach. J. Tek. Mesin*, **2(1)**: 29–35 (2016).
- Oktavia, K., Nurlina. & Shofiyani, A., Penurunan Kadar Ion Sulfat Dalam Air Menggunakan Komposit Kitosan/Zeolit/Pva. *J. Kim. Khatulistiwa*, **7(4)**: 66–74 (2018).
- Darsono., Danu, S. & Las, T., Sifat Mekanik Komposit Campuran Zeolit-PVA yang diradiasi Sinar γ Co-60. in *In: Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi*, (2000).
- Aidha, N. N., Aktivasi Zeolit Secara Fisika dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) Dalam Air Tanah. *J. Kim. dan Kemasan*, **35(1)**: 58 (2013).
- Mukti, N. I. F., Modifikasi Zeolit Alam

- Sebagai Adsorben Ammonium Hidroksida (NH₄OH). *Teknoin*, **22(10)**: (2016).
11. Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Yamin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D. & Dewangga, D. P., the Effect of Chemical Activation By Using Acid and Base Solution on Natural Zeolite Characteristics. *J. Ris. Teknol. Ind.*, **13(2)**: 266 (2019).
 12. Piluharto, B., Sjaifullah, A., Rahmawati, I. & Nurharianto, E., Membran Blend Kitosan/Poli Vinil Alkohol (PVA): Pengaruh Komposisi material blend, pH, dan Konsentrasi bahan Pengikat Silang. *J. Kim. Ris.*, **2(2)**: 77 (2017).
 13. Muharam, T., Fitriani, D., Fataya Miftahul Jannah, D., Zidan Al Ghifari, M. & Pasonang Sihombing, R., Karakteristik Daya Serap Air Dan Biodegradabilitas Pada Bioplastik Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Polyvinyl Alcohol. *Pros. Snast*, D35-49 (2022). doi:10.34151/prosidingsnast.v8i1.4152
 14. Ishak., Jura, M. R. & Pulukadang, S. H. V., Tingkat Kesadahan dan Uji Derajat Keasaman (pH) pada Air Tanah di Desa Mapane Tambu Kecamatan Balaesang Kabupaten Donggala. *Media Eksakta*, **17(1)**: 46–51 (2021).
 15. Lukum, A., Isa, I., Iyabu, H., & Kunusa, W. R., *Dasar-Dasar Kimia Analitik. Uwais Inspirasi Indonesia.*, (2022).
 16. Hamzah, N., Fadhlurrahman, M., Ningsi, S. & Haeria., Profil Indeks Pengembangan Ikatan-Silang Gelatin-Kitosan Swelling Index Profile of Cross-link Gelatin-Chitosan. *J.Pharm.Sci*, **2(2)**: 77–87 (2019).
 17. Wiyantoko, B., Arryanto, Y. & Kunarti, E. S., Studi Pengaruh Jumlah Filler Serta Konsentrasi Glutaraldehyda Pada Sintesis Komposit PVA-Zeolit-Clay. in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, K-35-K-40 (2013). doi:ISBN: 978 – 979 -96880 – 7 - 1
 18. Susanti, A. D., Sediawan, W. B., Wirawan, S. K. & Budhijanto., Model Isoterm Kesetimbangan Adsorpsi Oryzanol dalam Minyak Bekatul pada Adsorben Silika Geldengan Fase Gerak n-Heksana:Aseton. in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 1–5 (2015).
 19. Ilmi, M. M., Utomo, W. P. & Hartanto, D., Script Adsorptive Removal of Auramin Dye From Aqueous Solution Using H-Zsm-5 Synthesized From Bangka Kaolin Without Organic Template. in *International Conference on Functional Materials and Steel*, 25 (2018).
 20. Indrawati, D. & Cahyaningrum, S. E., Effect of Chitosan and Silica Composition To Characterization of Chitosan-Silica Bead Adsorbent. *UNESA J. Chem.*, **2(1)**: 8–13 (2013).