

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aktivasi Zeolit

Zeolit alam yang sudah halus terlebih dahulu dilakukan pengayakan dan pencucian sebelum proses aktivasi. Ukuran ayakan yang digunakan yaitu 150 mesh dan 200 mesh, dengan tujuan untuk mendapatkan keseragaman ukuran butiran zeolit antara 150-200 mesh. Proses aktivasi zeolit dilakukan secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan mencuci zeolit menggunakan akuades 250 mL dan diaduk dengan *magnetic stirer* selama 1 jam. Zeolit disaring dan dikeringkan pada 105°C sehingga diperoleh zeolit 150-200 mesh sebanyak 70 g yang berwarna kuning kecoklatan. Tujuan aktivasi secara fisika yaitu untuk menghilangkan air yang terikat secara fisika, menguraikan senyawa organik yang terperangkap dalam rongga zeolit dan menghilangkan ion-ion yang larut dalam air yang ada di permukaan atau pori-pori zeolit. Sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dan memperbesar volume pori zeolit.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan mencampurkan zeolit sebanyak 60 g dengan HCl 0,4 M rasio 1 g zeolit / 10 mL HCl dan diaduk selama 4 jam dengan *magnetic stirer*. Tujuan aktivasi secara kimia adalah untuk menyeragamkan kation pada zeolit menggunakan HCl dan menghilangkan pengotor yang larut dalam asam seperti senyawa oksida logam. Oksida-oksida logam tersebut yaitu Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, K₂O dan TiO₂. Zeolit hasil aktivasi dibilas dengan akuades hingga pH akuades lalu dikeringkan pada 105°C dan ditimbang hingga berat konstan. Proses pembilasan zeolit dengan akuades bertujuan untuk menghilangkan ion H⁺ dan Cl⁻ yang tidak terikat pada permukaan zeolit.

4.2 Fosfatasi Zeolit

Fosfatasi zeolit bertujuan untuk menggantikan atom Si pada tetrahedral SiO₄ atau atom Al pada tetrahedral AlO₄⁻ dengan atom P pada tetrahedral PO₄⁺ yang bermuatan positif melalui proses substitusi isomorfi tanpa mengubah struktur zeolit[5]. Zeolit aktif yang berwarna kuning kecoklatan sebanyak 6 g dicampur 45,552 g NH₄H₂PO₄ dari hasil perhitungan **Lampiran D.1** (rasio Si/P = 1:6).

Campuran tersebut dipanaskan pada temperatur 235°C selama 5 jam. Kemudian didiamkan pada suhu ruang, lalu dicuci dengan akuades sampai filtrat bebas ion fosfat agar dapat menghilangkan fosfat bebas dan fosfat yang kemungkinan terikat secara fisik pada permukaan atau pori zeolit. Untuk mengetahui filtrat bebas ion fosfat dilakukan uji kualitatif dengan menambahkan larutan $Mg(NO_3)_2$ [35]. Hal ini ditandai dengan tidak adanya endapan putih dari $Mg_3(PO_4)_2$ pada filtrat dengan reaksi sebagai berikut:



Kemudian zeolit yang telah terfosfatasi dikeringkan pada temperatur 105°C untuk menghilangkan air yang ada di kerangka atau pori-pori zeolit-fosfat. Sehingga diperoleh serbuk *Alumino Silico Phosphate* (ASP) yang berwarna putih keabu-abuan sebanyak 5,9 g.

4.3 Pembuatan Granul ASP

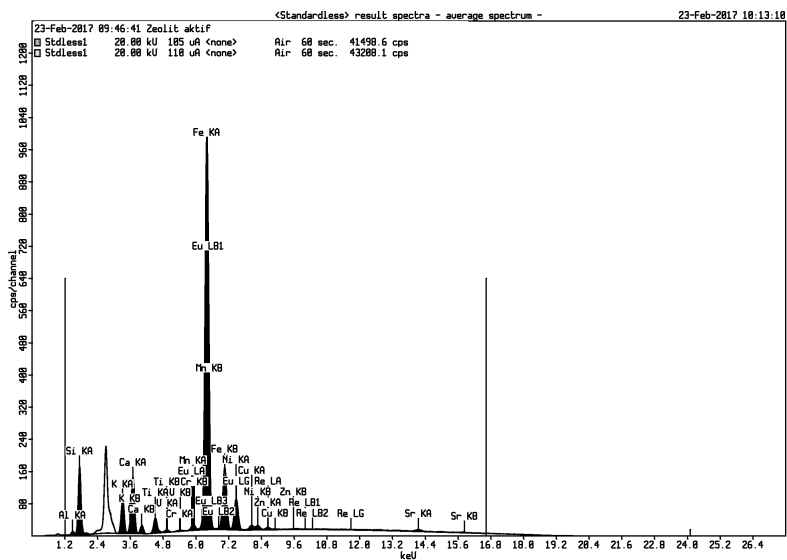
Alumino Silico Phosphate (ASP) sebanyak 4 g dicampur dengan gel kitosan (0,24 g kitosan dan 12 mL asam asetat 2 %) lalu diaduk dengan *magnetic stirer* hingga homogen. Gel kitosan berfungsi sebagai perekat ASP sehingga dapat terbentuk granul. Selain itu gel kitosan memiliki gugus amina ($-NH_3^+$) yang dapat dimungkinkan untuk meningkatkan kemampuan ASP sebagai adsorpsi anion yang dibentuk oleh ion Cr(VI). ASP-kitosan diteteskan ke dalam larutan NaOH 1 M dengan bantuan *syringe pump* laju alir 50 mL/jam sampai terbentuk granul. Syringe pump digunakan laju alir 50 mL/jam yaitu untuk menyeragamkan ukuran granul saat terbentuk. Sedangkan larutan NaOH berfungsi agar gel kitosan yang telah bercampur dengan ASP dapat mengeras dan ASP-kitosan tidak pecah. Hal ini sesuai dengan sifat kitosan yang larut dalam suasana asam (asam organik) karena gugus $-NH_2$ pada kitosan mengalami protonasi menjadi $-NH_3^+$ sehingga meningkatkan kepolaran kitosan dan mudah larut dalam pelarut polar. Kemudian kitosan mengeras dalam suasana basa karena gugus $-NH_3^+$ mengalami deprotonasi menjadi $-NH_2$ sehingga menurunkan kepolaran kitosan dan menyebabkan kitosan tidak larut dalam pelarut polar/ mengalami penggumpalan[22]. Granul yang terbentuk kemudian dicuci dengan akuades hingga pH filtrat sama dengan pH akuades dan dikeringkan pada temperatur 105°C untuk

menghilangkan air yang ada di kerangka atau pori-pori ASP-kitosan. Sehingga diperoleh Granul *Alumino Silico Phosphate* (GASP) yang berwarna putih kecoklatan sebanyak 3,6 g.

1.4 Karakterisasi Adsorben Granul *Alumino Silico Phosphate* (GASP)

1.4.1 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

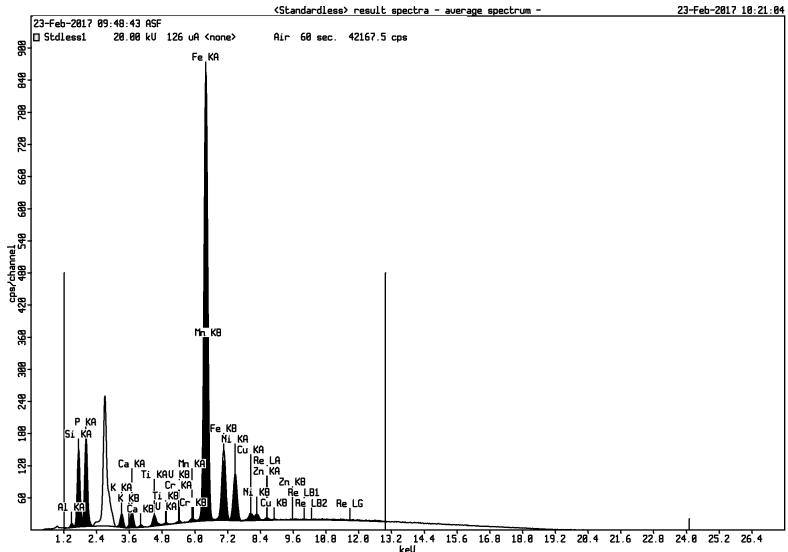
Analisis dengan menggunakan XRF bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung di dalam adsorben zeolit aktif, ASP dan GASP. Spektra XRF dari zeolit aktif dan *Alumino Silico Phosphate* (ASP) terdapat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**. Sedangkan interpretasi dari spektra XRF dari zeolit aktif dan *Alumino Silico Phosphate* (ASP) terdapat pada **Gambar 4.3**.



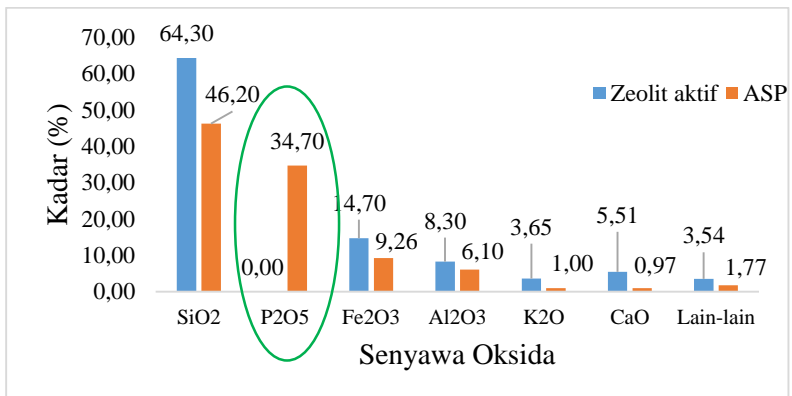
Gambar 4.1 Spektra XRF dari zeolit aktif

Pada data XRF zeolit aktif **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.3** kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang merupakan komponen utama penyusun kerangka zeolit yaitu berturut-turut sebesar 64,30 % (wt) dan 8,30 % (wt). Dari kadar silika tersebut dapat ditentukan massa $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ yang diperlukan dalam proses fosfatasi

zeolit aktif dengan perhitungan sesuai pada **Lampiran D.1**. Walaupun telah dilakukan proses aktivasi zeolit, masih terlihat senyawa pengotor dengan kadar tinggi seperti Fe_2O_3 sebesar 14,70 % (wt), CaO sebesar 5,51 % (wt) dan K_2O sebesar 3,65 % (wt).



Gambar 4.2 Spektra XRF dari ASP



Gambar 4.3 Grafik hubungan kadar (%) terhadap jenis senyawa oksida.

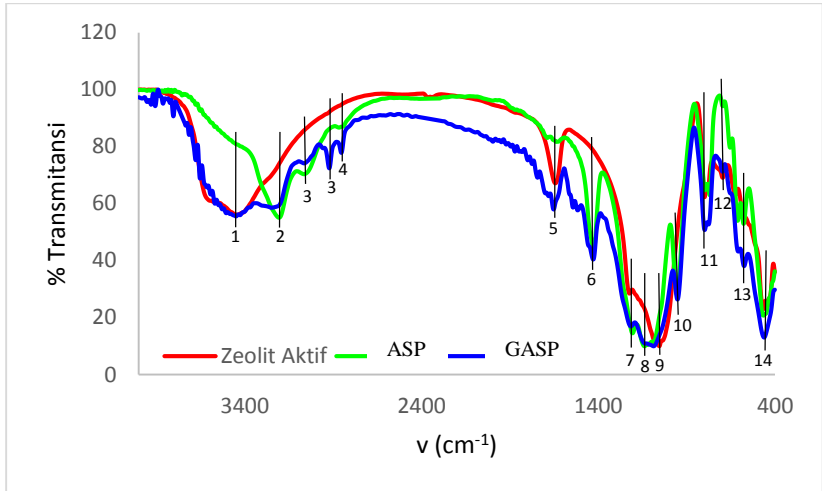
Kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada **Gambar 4.3** mengalami penurunan setelah dilakukan proses fosfatasi menjadi 46,20 % (wt) dan 6,10 % (wt) bersamaan dengan munculnya senyawa oksida P_2O_5 dari penambahan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ sebesar 34,70 % (wt). Selain itu senyawa pengotor Fe_2O_3 , CaO dan K_2O juga mengalami penurunan kadar menjadi 9,26 % (wt), 0,97 % (wt) dan 1,00 % (wt). Munculnya senyawa oksida P_2O_5 dimungkinkan terjadinya substitusi isomorfi pada kerangka zeolit saat proses fosfatasi dan atau ion fosfat bebas yang tidak mengalami substitusi isomorfi.

Dibandingkan dengan gugus alumina, gugus silika cenderung mudah digantikan oleh gugus fosfat karena adanya beberapa kemiripan sifat dari silika dan fosfat. Seperti panjang ikatan yang sama yaitu Si-O pada silika sebesar 1,63 Å dan P-O pada fosfat sebesar 1,63 Å dibandingkan pada Al-O pada alumina sebesar 1,75 Å. Besarnya panjang ikatan pada alumina menyebabkan kestabilan juga ikut meningkat. Selain itu, energi ikat Al-O pada alumina sebesar 512 kJ/mol yang lebih besar dibandingkan energi ikat dari Si-O pada silika sebesar 452 kJ/mol dan P-O pada fosfat sebesar 335 kJ/mol [39, 40]. Sehingga alumina lebih sulit mengalami fosfatasi dibandingkan silika. Keberhasilan fosfatasi zeolit secara rinci dapat diketahui berdasarkan karakterisasi dengan FTIR dan hasil adsorpsi dari adsorben hasil fosfatasi (ASP dan GASP).

1.4.2 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Analisis dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung di dalam zeolit aktif, ASP dan GASP. Pola spektra IR dari zeolit aktif, *Alumino Silico Phosphate* (ASP) dan *Granul Alumino Silico Phosphate* (GASP) terdapat pada **Gambar 4.4** dan interpretasi dari pola spektra IR terdapat pada **Tabel 4.1**

Berdasarkan pada **Gambar 4.4** dan **Tabel 4.1** pita nomor 1 muncul regangan gugus O-H pada zeolit aktif dan GASP yang menandakan adanya H_2O yang masuk di dalam pori-pori zeolit. Adanya H_2O diperkuat pada pita nomor 5 muncul tekuk O-H dari zeolit aktif, ASP dan GASP. Gugus O-H pada ASP tidak muncul di pita nomor 1 karena sangat sedikitnya kadar air yang menyebabkan intensitas yang muncul juga sangat rendah (tidak cukup kuat untuk menghasilkan puncak).



Gambar 4.4 Spektra inframerah zeolit aktif, ASP dan GASP

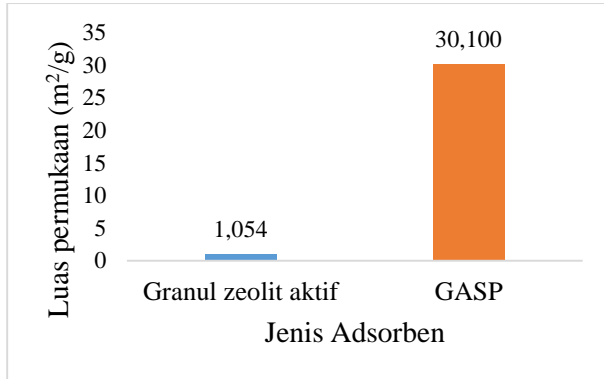
Pita nomor 6, 8, 10 dan 13 berturut-turut menunjukkan adanya regangan gugus P=O, regangan PO_4 (O-P-O), regangan PO_4 (O-P-O) dan tetrahedral PO_4 yang hanya terjadi pada adsorben ASP dan GASP. Hal ini membuktikan terjadinya substitusi isomorfi antara gugus alumina (AlO_4^-) dan silika (SiO_4) dengan fosfat (PO_4^+) saat proses fosfatasi. Selain itu, adanya substitusi isomorfi menyebabkan terjadi pergeseran bilangan gelombang dari besar menjadi lebih kecil. Pergeseran bilangan gelombang terjadi pada pita nomor 7, 9 dan 12 berturut-turut regangan asimetris *external linkage* TO_4 (O-Si-O dan O-Al-O), regangan asimetris internal tetrahedral (O-Si-O dan O-Al-O) dan regangan simetris internal tetrahedral (O-Si-O dan O-Al-O) dari zeolit aktif bergeser menjadi pita nomor 8, 10 dan 13 dari adsorben ASP dan GASP. Sesuai dengan hukum Hooke yang menyatakan bahwa meningkatnya massa antar atom yang berikatan yaitu dari massa atom Si-O (Mr: 42,98 g/mol) dan Al-O (Mr: 44,084 g/mol) menjadi P-O (Mr: 46,972 g/mol) maka menyebabkan bilangan gelombang bergeser ke daerah yang lebih rendah[46]. Walaupun mengalami pergeseran, pada pita nomor 7, 9 dan 12 dari adsorben ASP dan GASP masih menghasilkan puncak yang menandakan tidak semua gugus alumina (AlO_4^-) dan silika (SiO_4) digantikan oleh gugus fosfat (PO_4^+).

Tabel 4.1 Interpretasi spektra inframerah zeolit aktif, ASP dan GASP

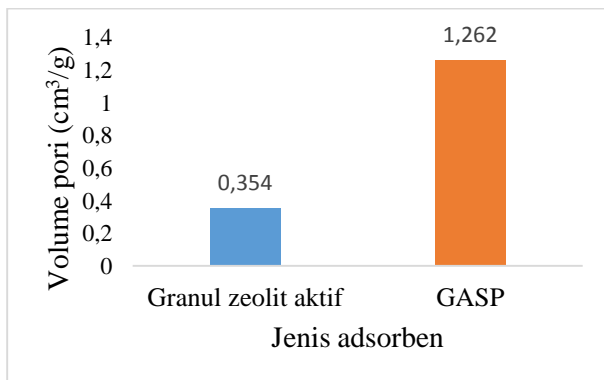
| No Pita | Zeolit Aktif (cm ⁻¹) | ASP (cm ⁻¹) | GASP (cm ⁻¹) | Jenis Vibrasi dan Gugus Fungsi |
|---------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 3443,46 | - | 3449,25 | Regangan O-H (H ₂ O dan kitosan)[26, 39, 40] |
| 2 | - | 3206,23 | 3246,74 | Regangan asimetri N-H (NH ₄ H ₂ PO ₄ dan kitosan)[27] |
| 3 | - | - | 3063,51 2920,79 | Regangan asimetris C-H (kitosan)[26, 39] |
| 4 | - | 2866,79 | 2853,29 | Regangan simetris N-H (NH ₄ H ₂ PO ₄ dan kitosan)[41] |
| 5 | 1642,07 | 1686,43 1638,21 | 1651,72 | tekuk O-H (H ₂ O [41] |
| 6 | - | 1426,06 | 1427,99 | Regangan (P=O)[27, 41] |
| 7 | 1223,55 | 1206,19 | 1213,90 | Regangan asimetris <i>external linkage</i> (O-Si-O dan O-Al-O)[44] |
| 8 | - | 1138,69 | 1130,97 | Regangan PO ₄ (O-P-O) [27, 41] |
| 9 | 1053,82 | 1086,61 | 1086,61 | Regangan asimetris internal tetrahedral (O-Si-O dan O-Al-O)[26, 43] |
| 10 | - | 953,53 | 951,6 | Regangan PO ₄ (O-P-O)[27, 41] |
| 11 | 797,31 779,95 | 795,38 768,38 | 797,31 | Regangan simetris <i>external linkage</i> (O-Si-O dan O-Al-O)[42, 43] |
| 12 | 695,09 | 695,09 652,66 | 697,02 | Regangan simetris internal tetrahedral (O-Si-O dan O-Al-O)[45] |
| 13 | - | 577,44 | 573,58 | Tetrahedral PO ₄ (O-P-O, O=P-O)[42] |
| 14 | 465,58 | 465,58 | 459,79 | Tekuk tetrahedral (Si-O-Si dan Al-O-Al)[26, 43] |

1.4.3 SAA (*Surface Area Analyzer*)

Analisis dengan menggunakan SAA bertujuan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori dan radius pori rata-rata atau distribusi pori pada granul zeolit aktif dan GASP. Hasil karakterisasi SAA terdapat pada **Gambar 4.5**, **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**.



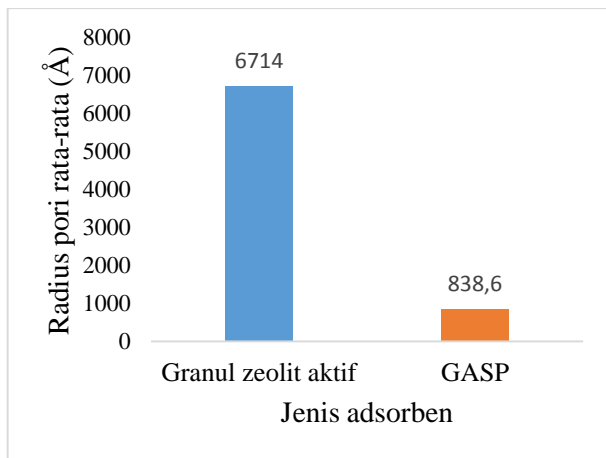
Gambar 4.5 Data luas permukaan (m²/g) pada granul zeolit aktif dan GASP



Gambar 4.6 Data volume pori (cm³/g) pada granul zeolit aktif dan GASP

Berdasarkan **Gambar 4.5** pada GASP memiliki luas permukaan 30,100 m²/g yang lebih besar dibandingkan granul zeolit

aktif 1,054 m²/g. Pada **Gambar 4.6** GASP juga mempunyai volume pori sebesar 1,262 cm³/g yang lebih besar dibandingkan granul zeolit aktif sebesar 0,354 cm³/g. Hal ini menunjukkan bahwa proses fosfatasi tidak hanya meningkatkan situs positif tetapi juga dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori dari zeolit. Selain itu pada **Gambar 4.7** radius pori rata-rata pada GASP yaitu 838,6 Å lebih rendah dibandingkan granul zeolit aktif yaitu 6714 Å. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya luas permukaan dan volume pori setelah proses fosfatasi menyebabkan radius pori rata-rata menurun. Radius pori rata-rata menunjukkan seberapa dekat jarak antar pori di dalam adsorben. Sehingga semakin kecil radius pori rata-rata maka semakin dekat jarak antar pori dan semakin banyak pori pada adsorben.

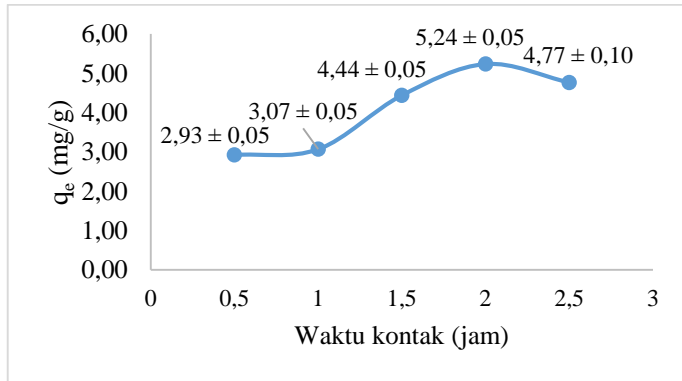


Gambar 4.7 Data radius pori rata-rata (Å) pada granul zeolit aktif dan GASP

1.5 Pengaruh Waktu Kontak Optimum Adsorpsi GASP terhadap Cr(VI)

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh waktu kontak optimum dengan menambahkan GASP sebanyak 0,1 g ke dalam 25 mL larutan K₂CrO₄ 100 mg/L dan dilakukan pengocokan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm dengan variasi waktu kontak 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 jam. Filtrat diambil dan dilakukan penentuan kadar ion Cr(VI) dengan metode spektrofotometri sinar tampak pada panjang

gelombang 541 nm dengan pengompleks difenilkarbazida. Sehingga diperoleh data seperti pada **Gambar 4.8**.

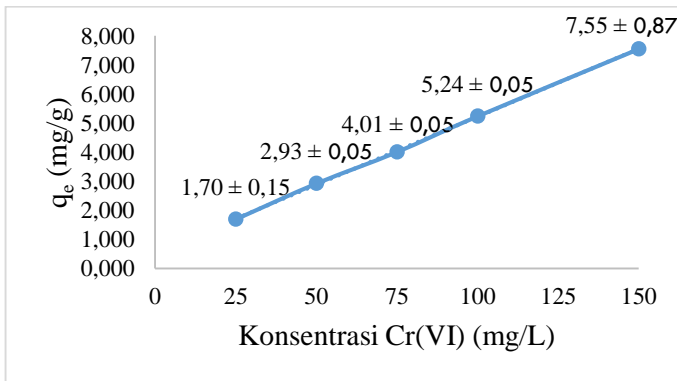


Gambar 4.8 Grafik hubungan waktu kontak adsorpsi terhadap massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben GASP (q_e).

Pada **Gambar 4.8** menunjukkan bahwa waktu optimum pada proses adsorpsi terjadi pada 2 jam dengan massa ion Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (q_e) yaitu sebesar $5,24 \pm 0,20$ mg/g. q_e mengalami peningkatan pada waktu kontak 0,5 jam sampai 2 jam berturut-turut $2,93 \pm 0,05$; $3,07 \pm 0,05$; $4,44 \pm 0,05$ dan $5,24 \pm 0,05$ mg/g. Meningkatnya q_e dikarenakan pada awal proses adsorpsi ketersediaan situs positif/sisi aktif dan ruang pada pori-pori adsorben GASP yang besar serta perbedaan konsentrasi Cr(VI) antara adsorbat dan adsorben yang besar. Hal tersebut menyebabkan proses perpindahan massa Cr(VI) dari adsorbat ke adsorben GASP berjalan dengan cepat[47]. Sedangkan pada waktu kontak dari 2 jam sampai 2,5 jam, q_e mengalami penurunan yaitu dari $5,24 \pm 0,05$ mg/g menjadi $4,77 \pm 0,10$ mg/g. Penurunan massa Cr(VI) yang teradsorpsi terjadi karena situs positif/sisi aktif pada adsorben GASP sudah terisi penuh oleh Cr(VI) sehingga adsorben mengalami kejenuhan dan menyebabkan terjadinya proses desorpsi/ terlepasnya Cr(VI) dari adsorben kembali ke adsorbat. Sesuai dengan teori bahwa pada waktu tertentu massa Cr(VI) yang teradsorpsi akan meningkat kemudian mengalami penurunan saat setelah konsentrasi Cr(VI) mengalami kesetimbangan di dalam adsorben dan adsorbat [47].

4.6 Pengaruh Konsentrasi Cr(VI) terhadap Kapasitas Adsorpsi pada GASP

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi Cr(VI) terhadap kapasitas adsorpsi pada GASP dengan menambahkan 1 g adsorben GASP ke dalam 25 mL larutan K_2CrO_4 25, 50, 75, 100 dan 150 mg/L. Kemudian dilakukan pengocokan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm dan menggunakan waktu kontak optimum yaitu 2 jam (**Hasil 4.5**). Filtrat diambil dan dilakukan penentuan kadar Cr(VI) dengan metode spektrofotometri sinar tampak pada panjang gelombang 541 nm dengan pengompleks difenilkarbazida. Sehingga diperoleh data seperti pada **Gambar 4.9**.

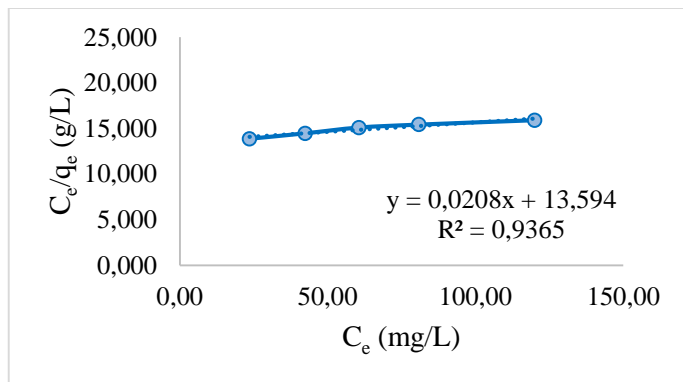


Gambar 4.9 Grafik hubungan variasi konsentrasi Cr(VI) terhadap massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben GASP (q_e).

Pada **Gambar 4.9** menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi Cr(VI) maka semakin besar pula massa Cr(VI) yang teradsorpsi oleh GASP. Massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (q_e) terus mengalami kenaikan dari konsentrasi 25 mg/L sampai 150 mg/L berturut-turut $1,70 \pm 0,15$; $2,93 \pm 0,05$; $4,01 \pm 0,05$; $5,24 \pm 0,05$ dan $7,55 \pm 0,87$ mg/g. Hal ini terjadi karena adsorben GASP memiliki pori-pori dan situs positif/sisi aktif yang besar sehingga dibutuhkan lebih banyak lagi massa Cr(VI)/konsentrasi Cr(VI) yang lebih besar untuk sepenuhnya menempati semua sisi aktif tersebut sampai mengalami kejenuhan. Sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi adsorbat, semakin banyak jumlah zat

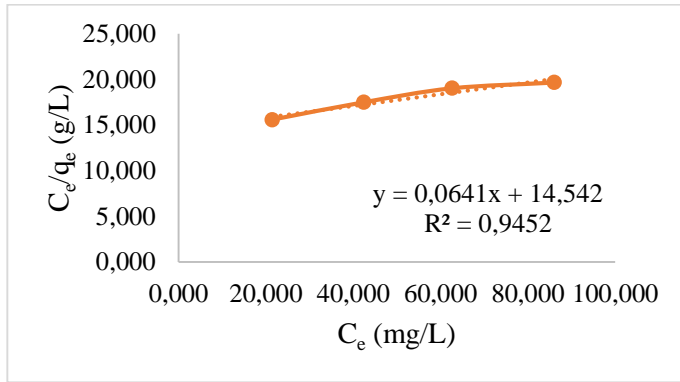
terlarut yang dapat diadsorpsi sampai tercapai kondisi kesetimbangan, yaitu laju zat yang diserap sama dengan laju zat yang dilepas dari adsorben pada temperatur tertentu[33].

Berdasarkan data yang diperoleh pada **Gambar 4.9** ditentukan kapasitas adsorpsi maksimum adsorben GASP dengan menggunakan persamaan Langmuir. Persamaan Langmuir mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben[33, 34]. Sehingga diperoleh grafik seperti pada **Gambar 4.10**.

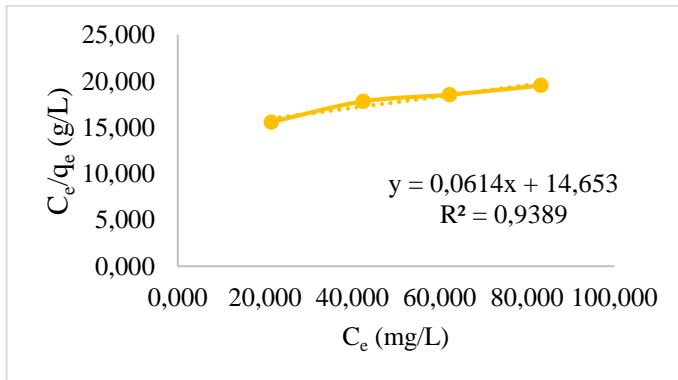


Gambar 4.10 Grafik persamaan Langmuir GASP dari konsentrasi Cr(VI) setelah proses adsorpsi (C_e) terhadap konsentrasi per massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (C_e/q_e).

Pada **Gambar 4.10** diperoleh harga koefisien determinasi $R^2 \geq 0,9$ (mendekati 1) yang menunjukkan bahwa persamaan $y = 0,0208x + 13,594$ memenuhi persamaan Langmuir dengan $R^2 = 0,937$. Kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) pada adsorben GASP dapat ditentukan dari nilai slope atau kemiringan ($1/q_m$) dengan nilai slope 0,0208 yaitu sebesar 48,077 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum juga ditentukan untuk adsorben zeolit aktif, granul zeolit aktif dan *Alumino Silico Phosphate* (ASP) berturut-turut **Gambar 4.11**, **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13**.



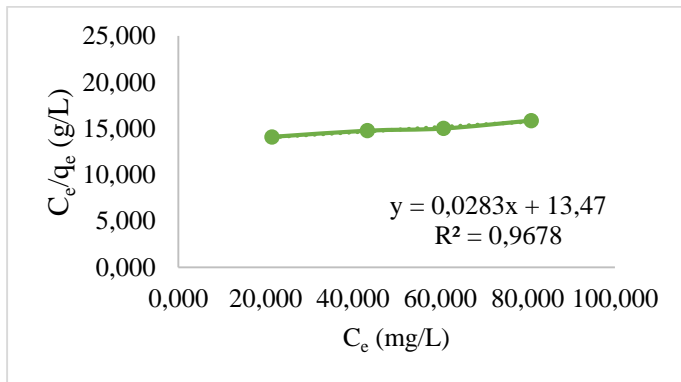
Gambar 4.11 Grafik persamaan Langmuir zeolit aktif dari konsentrasi Cr(VI) setelah proses adsorpsi (C_e) terhadap konsentrasi per massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (C_e/q_e).



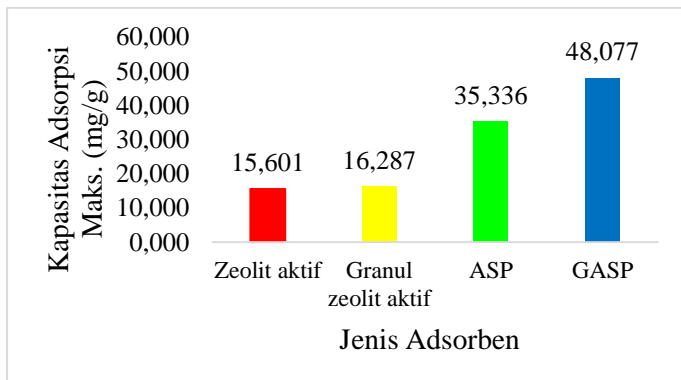
Gambar 4.12 Grafik persamaan Langmuir granul zeolit aktif dari konsentrasi Cr(VI) setelah proses adsorpsi (C_e) terhadap konsentrasi per massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (C_e/q_e).

Harga koefisien determinasi (R^2) pada adsorben zeolit aktif **Gambar 4.11**, granul zeolit aktif **Gambar 4.12** dan ASP **Gambar 4.13** memiliki $R^2 \geq 0,9$ (mendekati 1) sehingga memenuhi persamaan Langmuir dengan nilai R^2 berturut-turut 0,945; 0,939 dan 0,968. Kapasitas adsorpsi maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan nilai slope masing-masing persamaan pada adsorben zeolit aktif, granul zeolit aktif dan ASP. Sehingga diperoleh perbedaan

kemampuan adsorpsi berdasarkan nilai kapasitas adsorpsi maksimum pada masing-masing adsorben seperti pada **Gambar 4.14**.



Gambar 4.13 Grafik persamaan Langmuir ASP dari konsentrasi Cr(VI) setelah proses adsorpsi (C_e) terhadap konsentrasi per massa Cr(VI) yang diserap per gram adsorben (C_e/q_e).



Gambar 4.14 Grafik kapasitas adsorpsi maksimum pada adsorben yang berbeda.

Pada **Gambar 4.14** terlihat bahwa nilai kapasitas adsorpsi maksimum tertinggi terjadi pada adsorben GASP yaitu sebesar 48,077 mg/g dibandingkan dengan jenis adsorben lain (zeolit aktif, granul zeolit aktif dan ASP). Hal ini terjadi karena pada adsorben GASP memiliki gugus/situs positif yang besar dari hasil proses fosfatasi zeolit dengan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dan penambahan kitosan sehingga mampu

mengadsorpsi anion/ Cr(VI) lebih banyak. Gugus/situs positif yang berperan yaitu PO_4^+ pada layer zeolit terfosfatasi dan gugus fungsi $-\text{NH}_3^+$ dari kitosan. Selain itu meningkatnya luas permukaan, volume pori dan jumlah pori (hasil karakterisasi SAA) juga dapat berperan sebagai faktor dalam peningkatan kapasitas adsorpsi maksimum pada GASP. Pengaruh zeolit yang terfosfatasi juga dapat diketahui dari nilai kapasitas adsorpsi maksimum ASP yaitu 35,336 mg/g yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit aktif yaitu 15,601 mg/g. Hal ini sesuai dengan teori bahwa pada proses fosfatasi struktur SiO_4 bermuatan netral atau AlO_4^- bermuatan negatif di dalam zeolit akan digantikan dengan struktur PO_4^+ yang bermuatan positif yang menyebabkan muatan positif pada zeolit meningkat sehingga kapasitas adsorpsi maksimum juga ikut meningkat[5]. Reaksi pergantian gugus fungsi pada substitusi isomorfi sesuai pada **Gambar 2.4**.

Sedangkan pengaruh penambahan kitosan dapat diketahui dari nilai kapasitas adsorpsi maksimum antara zeolit aktif dengan granul zeolit aktif dan ASP dengan GASP. Adanya kitosan pada granul zeolit aktif menyebabkan nilai kapasitas adsorpsi maksimum granul zeolit aktif yaitu 16,287 mg/g lebih besar dibandingkan zeolit aktif yaitu 15,601 mg/g. Begitu juga pada GASP yang memiliki nilai kapasitas adsorpsi maksimum yaitu 48,077 mg/g lebih besar dibandingkan ASP yaitu 35,336 mg/g. Selain berfungsi sebagai perekat dalam pembuatan granul yang mudah dalam proses pemisahan, penambahan kitosan ke dalam zeolit dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi Cr(VI) karena kitosan mampu membentuk ikatan silang dengan zeolit dan memiliki gugus amina ($-\text{NH}_3^+$) yang mampu mengikat anion/ Cr(VI)[21, 22]. Keefektifan penambahan kitosan juga dapat dibuktikan dari penelitian Xie, dkk[10] yang menghasilkan kapasitas adsorpsi pada granul zeolit kitosan sebesar 4,05 mg/g lebih besar dibanding kapasitas adsorpsi serbuk zeolit sebesar 3,48 mg/g terhadap limbah anion (ion fosfat).

Adanya perbedaan jarak yang besar pada nilai kapasitas adsorpsi antara zeolit aktif ke granul zeolit aktif yaitu dari 15,601 mg/g menjadi 16,287 mg/g dengan ASP ke GASP yaitu dari 35,335 mg/g menjadi 48,077 mg/g disebabkan karena terdapat ion amonium (NH_4^+) pada ASP (dibuktikan dari serapan ion amonium pada spektra IR). Ketika ditambahkan kitosan pada ASP, menyebabkan pH larutan berada di sekitar 6,5 pada saat proses adsorpsi. Pada pH tersebut gugus amina ($-\text{NH}_2$) pada kitosan mengalami protonasi menghasilkan gugus amina

bermuatan positif ($-\text{NH}_3^+$). Meningkatnya jumlah gugus amina bermuatan positif ($-\text{NH}_3^+$) di dalam kitosan berbanding lurus dengan peningkatan kemampuan adsorpsi pada Cr(VI) dan dapat meningkatkan jarak perbedaan kapasitas adsorpsi antara ASP dengan GASP.