

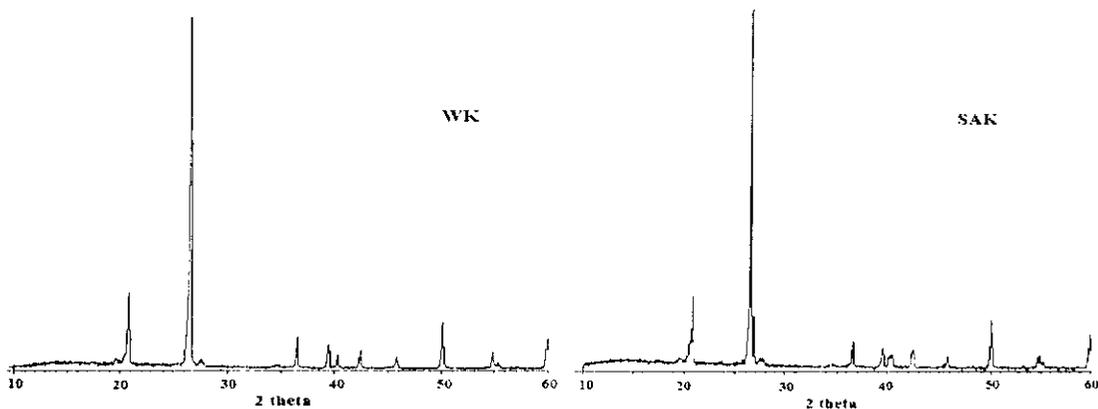
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakterisasi Lempung-keggin

5.1.1 Struktur fisik adsorben

Perbedaan pola XRD lempung alam yang dipolarisasi dengan ion keggin ditunjukkan pada Gambar 5.1 di bawah ini.



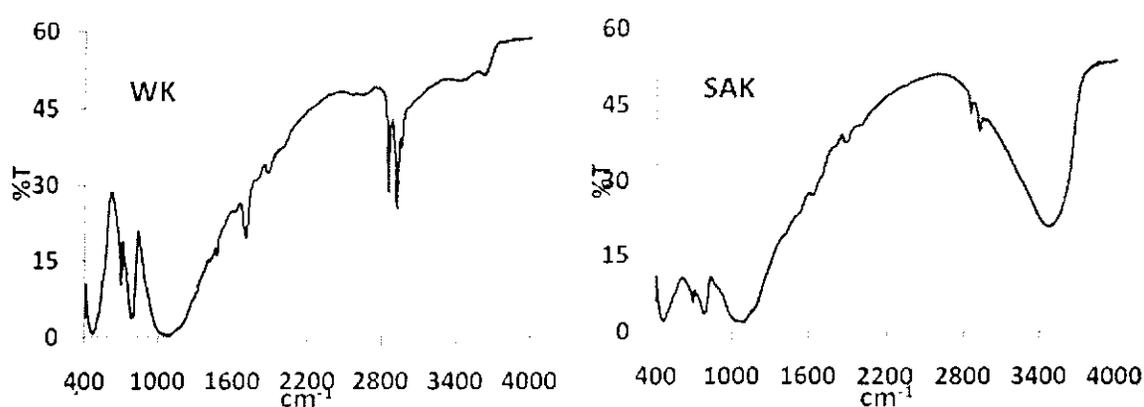
Gambar 5.1 Pola difraksi sinar X dari lempung yang dipilar dengan ion keggin WK dan SAK (WK: lempung alam-keggin, SAK: lempung-sodium asetat-keggin).

Polarisasi merupakan serangkaian tahapan proses yang terdiri dari impregnasi padatan dengan larutan pemilar larutan ion keggin yang diikuti dengan kalsinasi pada suhu tertentu. Lempung alam yang dipilar (WK) dan lempung alam yang telah dimodifikasi dengan sodium asetat lalu kemudian dipilar (SAK), keduanya memunculkan puncak pada d spacing 4,5 Å dan 3,14 Å. Muhdarina et al (2008) telah melaporkan pada lempung alam (INC-O) dan lempung yang dimodifikasi dengan sodium asetat (INC-SA) dijumpai puncak-puncak pada d spacing 7,5 Å dan 3,57 Å yang merupakan identitas kaolinit. Ini berarti polarisasi menyebabkan peningkatan d spacing sebesar 0,93Å, yakni pergeseran dari 3,57Å menjadi 4,5Å. Pada saat yang sama puncak d 7,5 Å dari kaolinit hilang. Menurut Manohar et al (2006) daerah d 4,5 Å ini merupakan ciri adanya bentonit, suatu lempung tipe 2:1.

Reaksi polarisasi terutama disebabkan oleh pertukaran ion ditambah dengan adsorpsi spesies Al yang lain (Altunlu and Yapar, 2007). Sementara itu menurut Aceman et al (2000)

produk hidrolisis larutan berair aluminium dengan sodium hidroksida menghasilkan tiga spesies ion di dalam larutan yaitu sebagai monomer Al, sebagai $[AlO_4Al_{12}(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ yang dikenal dengan oligomer Al_{13} atau ion keggin serta sebagai polimer Al dengan komposisi yang belum diketahui. Sesuai dengan hasil hidrolisis yang memberikan pH 4,12, maka diyakini ion keggin adalah produk yang lebih dominan dalam campuran hidrolisis. Namun karena kuatnya ikatan yang ada pada rangka kaolinit dan kapasitas tukar kationnya yang sangat rendah, maka proses pilarisasi tidak berjalan dengan sempurna sehingga peningkatan *basal spacing* cukup kecil. Sehubungan dengan munculnya mineral bentonit, ini disebabkan oleh adsorpsi spesies Al ke dalam rangka lempung. Muhdarina et al (2001) menggunakan lempung kaolinit dengan pemilar ion keggin berhasil meningkatkan jarak kisi sebesar $2,95 \text{ \AA}$ yang merupakan pergeseran dari $7,24 \text{ \AA}$ (kaolinit) menjadi $10,19 \text{ \AA}$ (illit). Perbedaan itu disebabkan karena lempung pada penelitian ini merupakan campuran dari pada kaolinit dan muskovit (Muhdarina et al, 2008).

5.1.2 Sifat kimia adsoben



Gambar 5.2 Spektra vibrasi ikatan kimia pada lempung yang dipilar dengan ion keggin WK dan SAK (WK: lempung alam-keggin, SAK: lempung-sodium asetat-keggin).

Perbedaan spektra vibrasi FTIR lempung yang dipilarisasi dengan ion keggin ditunjukkan pada Gambar 5.2. Daerah 3443 cm^{-1} pada INC-SA merupakan stretching OH dari H_2O (Muhdarina et al, 2008). Pada SAK, vibrasi OH ini bergeser ke bilangan gelombang yang lebih tinggi pada 3469 cm^{-1} karena terjadi ikatan dengan ion keggin berupa keggin-OH stretching (Acemana et al, 1999). Fakta lain, bending OH dari H_2O pada 1653 cm^{-1} pada INC-O (Muhdarina et al, 2008) bergeser ke 1703 cm^{-1} pada WK, sedangkan daerah 1417 cm^{-1} dan 1559 cm^{-1} pada INC-SA (Muhdarina et al, 2008) tidak muncul lagi pada SAK. Pada 780 dan 797 cm^{-1} pada INC-

O dan INC-SA (Muhdarina et al, 2008) yang merupakan stretching vibrasi dari Al tetrahedral, puncak ini bergeser ke bilangan gelombang yang lebih rendah 778 cm^{-1} pada WK dan SAK karena terbentuk susunan keggin- $\text{Al}^{(\text{IV})}\text{OOH}$ (Acemana et al, 1999 dan Son et al, 2003).

5.1.3 Kapasitas pertukaran kation

Kapasitas tukar kation (KTK) yang dimiliki oleh lempung yang dipilar dengan keggin didapati meningkat jika dibandingkan dengan lempung tanpa dipilar. Peningkatan KTK pada WK berbanding INC-O adalah 7,2 kali, sedangkan SAK mengalami peningkatan KTK sebesar 1,8 kali dibandingkan dengan INC-SA (Tabel 5.1). Pengukuran dibuat berdasarkan jumlah kation NH_4^+ yang mampu dipertukarkan oleh kation-kation di dalam lempung. Peningkatan nilai KTK ini disebabkan oleh adsorpsi spesies Al ke dalam rangka lempung sesuai dengan hasil yang didapatkan dari XRD yang menyatakan adanya mineral bentonit pada lempung yang dipilar.

Tabel 5.1 Kapasitas tukar kation (KTK) lempung-keggin, WK dan SAK (WK: lempung alam-keggin, SAK: lempung-sodium asetat-keggin), pembandingan INC-O dan INC-SA

Sampel	KTK, meq/g
INC-O	7,650
INC-SA	23,950
WK	62,795
SAK	67,083

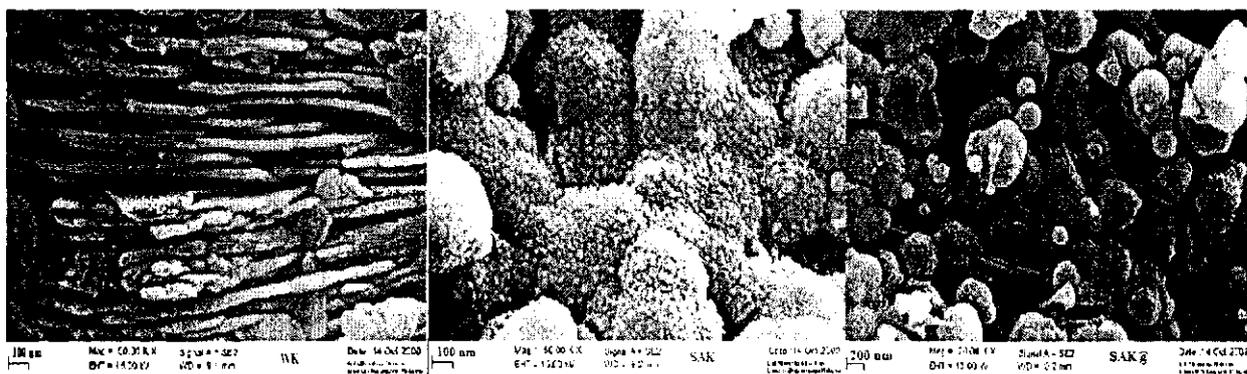
Dengan demikian nilai KTK ini merupakan ciri dari keberadaan mineral baru tersebut. Kenaikan nilai KTK dari 0,69 menjadi 0,89 meq/g juga ditunjukkan oleh Manohar et al (2006) yang mengamati pilarisasi bentonit dengan ion Keggins dan Muhdarina et al (2001) menunjukkan kenaikan KTK sebesar 2 kali semula pada kaolinit yang dipilar dengan Keggins. Kenaikan nilai KTK pada lempung ini mempertegas bahwa tidak terjadi pilarisasi, karena Salerno dan Mendiarioz (2002) menyatakan masuknya senyawa pemilar Keggins ke dalam struktur lempung menyebabkan penurunan nilai KTK lempung. Ini dibuktikannya melalui pilarisasi lempung montmorillonit dengan berbagai perbandingan rasio Al/ lempung (5, 10 dan 30) yang menunjukkan pengurangan KTK berturut-turut dari 119 meq/100 g menjadi 64,21 dan 21 meq/100g. Pada Tabel 5.1 diperlihatkan juga nilai KTK pada SAK > WK. Lempung SAK disiapkan secara bertingkat, yaitu modifikasi dengan sodium asetat dan pilarisasi dengan ion Keggins. Tahap awal menyebabkan permukaan lempung lebih homogen sehingga mempermudah



terjadi pertukaran ion pada proses pilarisasi selanjutnya. Di pihak lain, WK disiapkan secara pilarisasi langsung dengan ion Keggin tanpa melewati proses homogenisasi permukaan.

5.1.4 Morfologi permukaan adsorben

Struktur permukaan lempung yang telah dipilarisasi diperlihatkan pada Gambar 5.3 di atas yang diamati secara SEM dengan pembesaran 50.000x. Morfologi struktur permukaan partikel adsorben WK tampak sebagai pelat-pelat dan serpihan yang tidak beraturan dengan ukuran yang bervariasi, sedangkan SAK tampak sebagai gumpalan-gumpalan kluster kecil yang ukurannya relatif lebih kecil dari pada WK.



Gambar 5.3 Morfologi permukaan lempung yang dipilar dengan ion keggin, WK dan SAK pada pembesaran 50.000x (WK: lempung alam-keggin, SAK: lempung-sodium asetat-keggin) dan SAK@ (pembesaran 20.000x).

Tabel 5.2 Ukuran relatif partikel lempung –keggin, WK dan SAK (WK: lempung alam-Keggin, SAK: lempung-sodium asetat-Keggin), pembandingan INC-O dan INC-SA

Sampel	Tebal, nm	Bentuk	Keterangan
INC-O	33,22; 27,35; 44,98; 42,98; 34,12	Lembaran	Muhdarina et al, 2008
INC-SA	28,45; 93,8; 37,12; 145,1; 19,64	Lembaran	Muhdarina et al, 2008
WK	29,31; 27,35; 29,37; 25,4; 29,89	Lembaran	Penelitian ini
SAK	26,4; 18,6; 17,6; 17,6; 22,5	Lembaran Butiran	Penelitian ini

Tabel 5.2 di atas memperlihatkan ukuran relatif pelat dan butiran lempung INC-O, INC-SA, WK dan SAK. Bila membandingkan struktur permukaan INC-O dengan WK terlihat ada pengurangan tebal pelat serpihan setelah lempung dipilar, namun lain halnya dengan lempung INC-SA dan SAK, keduanya tampak sangat berbeda. INC-SA berbentuk pelat dengan tebal yang sangat bervariasi, sedangkan SAK terdiri dari butiran-butiran kecil yang membentuk gumpalan. Bila melihat SAK@ yang telah direkam dengan pembesaran 20.000x, terlihat bahwa butiran-butiran itu berada di antara pelat-pelat dan serpihan, artinya sebagian dari pelat dan serpihan dalam INC-SA telah berubah bentuk menjadi butiran. Namun secara umum, kedua lempung yang dipilar (WK dan SAK) menunjukkan ukuran pelat dan butiran yang lebih kecil dari pada lempung tanpa pilarisasi.

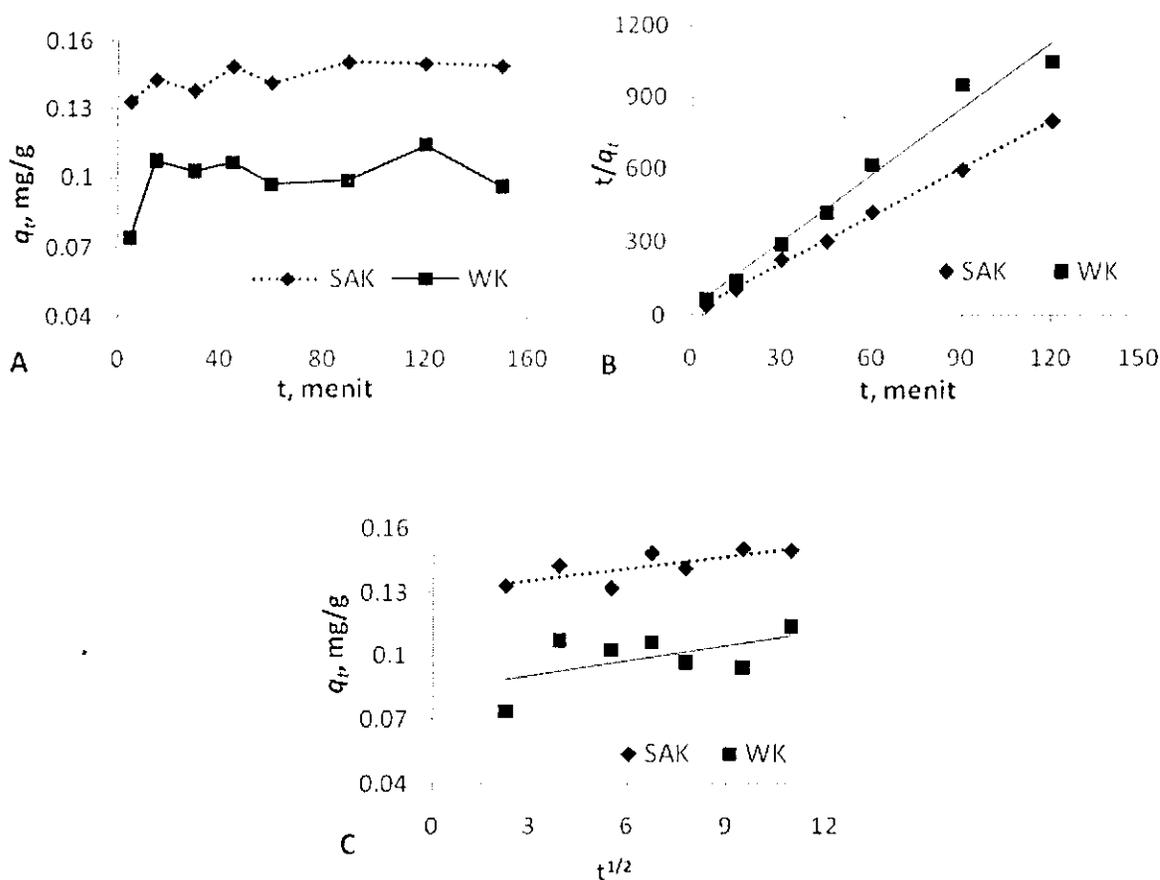
5.2 Studi Adsorpsi Kation Logam Cu(II) oleh Lempung-keggin

5.2.1 Efek waktu kontak adsorben-adsorbat dan kinetika adsorpsi

Kemampuan adsorpsi kedua lempung-keggin terhadap kation Cu(II) pada berbagai waktu pengamatan disajikan pada Gambar 5.4 A. Proses adsorpsi berjalan cepat pada waktu 15 menit pertama, terbukti dari jumlah Cu(II) yang teradsorpsi mencapai 93% oleh SAK dan 70% oleh WK, karena semua situs adsorpsi yang ada bekerja maksimal pada tahap awal ini. Setelah situs adsorpsi ini terpakai, maka proses adsorpsi berjalan secara lambat sehingga penambahan waktu berikutnya tidak banyak mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Waktu keseimbangan dicapai pada waktu 90 menit dengan kapasitas adsorpsi 99% pada SAK dan waktu 120 menit sebanyak 75% Cu(II) untuk WK. Menjelang keseimbangan tercapai, kation-kation secara bersama-sama akan memperebutkan situs adsorpsi yang masih tertinggal sehingga memperlambat laju perpindahan kation Cu(II) dari fasa larutan ke permukaan lempung-keggin (Bhattacharyya dan Gupta, 2006; Guerra dan Airoidi, 2008). Disamping itu, selama proses adsorpsi berjalan sebagian kation logam membentuk kompleks logam terhidrat yang lebih besar sehingga menghambat tercapainya situs adsorpsi. Pendapat ini cukup beralasan karena di dalam air kation-kation logam berat membentuk kompleks heksaqua yang memiliki jejari kation hidrat lebih besar dari pada jejari kation logamnya (Erdem et al, 2004; Peric et al, 2004).

Perubahan kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin terhadap waktu dievaluasi dengan mengamati parameter kinetika adsorpsi. Evaluasi menggunakan model kinetika order-

kedua pseudo dengan membuat plot t versus t/q_t (Gambar 5.4 B) ternyata dipenuhi oleh semua data adsorpsi yang ada, dengan nilai koefisien korelasi, R^2 0,99 (SAK) dan 0,98 (WK) serta deviasi antara q_e model dan q_e eksperimen sebesar 0,85% (SAK) dan 5,06% (WK), seperti disajikan di dalam Tabel 5.3. Pemenuhan terhadap model kinetika order-kedua pseudo ini dapat diartikan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara kimia yang terjadi karena penggunaan bersama-sama gaya valensi atau pertukaran kation (Ito, 2006; Anirudhan dan Radhakrishnan, 2008). Walaupun demikian, karena laju adsorpsi awal h (Tabel 5.3) cukup rendah maka proses adsorpsi kimia yang terjadi pun relatif kecil. Hal ini selanjutnya akan dibahas pada model isoterma dan termodinamika.



Gambar 5.4 A. Pola adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin WK dan SAK terhadap waktu kontak
 B. Model kinetika order-kedua pseudo, plot t versus t/q_t ,
 C. Model kinetika intra-partikel, plot $t^{1/2}$ versus q_t (T 30°C; C_0 1,5 mg/L; w 10g/L).

Di dalam sistem batch dengan pengadukan cepat, pemindahan adsorbat dari larutan ke pori-pori adsorben mungkin merupakan tahap penentu laju adsorpsi. Kemungkinan itu dapat diuji dengan model kinetika difusi intra-partikel (Gambar 5.4 C). Model ini dapat menggambarkan

fasa-fasa yang terjadi selama proses adsorpsi yakni adanya efek lapisan batas (*boundary layer*) yang berjalan sangat cepat dan efek difusi ke dalam kerangka polimer adsorben atau difusi intra-partikel sebagai pengontrol laju. Nilai setiap parameter model tersebut disajikan di dalam Tabel 5.3. Terlihat grafik model tersebut tidak melalui titik nol (intersep $C > 0$), tetapi nilai C sangat kecil (0,083 dan 0,13), artinya sangat kecil efek lapisan batas pada sistem adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin WK dan SAK, sehingga dengan demikian difusi intra-partikel lebih berperan di dalam proses adsorpsi ini, meskipun nilai koefisien korelasi kecil (R^2 : 0,32 dan 0,57).

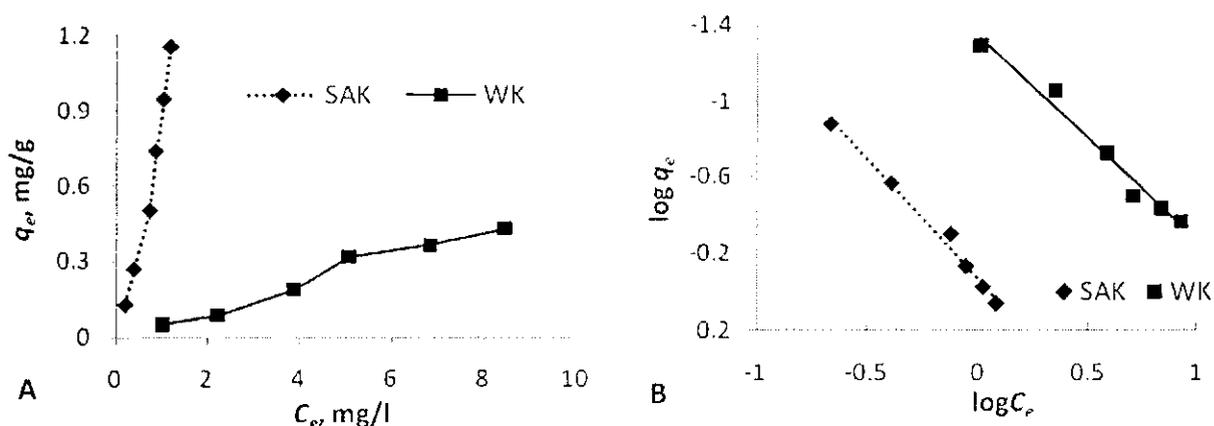
Adsorpsi kation Cu(II) oleh lempung tanpa Keggin, INC-O dan INC-SA ternyata juga memenuhi kinetika order-kedua pseudo (Muhdarina et al, 2008), sama dengan lempung-keggin WK dan SAK. Lempung bentonit yang dipilar dengan ion Keggin (Al-PILC) dapat mengadsorpsi kation Co(II) dengan mengikuti kinetika difusi intra-partikel (Manohar et al, 2006), sedangkan adsorpsi fosfat memenuhi kinetika order-pertama pseudo (Tian et al, 2009). Selain itu montmorilonit terpillar (Al-K10 dan Al-KSF) mengikuti order-kedua pseudo dan difusi intra-partikel dalam mengadsorpsi trimethoprim, suatu antibiotik (Molu dan Yurdakoc, 2009).

5.2.2 Efek konsentrasi larutan Cu(II) dan isoterma adsorpsi

Kapasitas adsorpsi kation Cu(II) oleh lempung-keggin SAK dan WK bertambah dengan naiknya konsentrasi awal larutan kation Cu(II) (Gambar 5.5 A), artinya situs adsorpsi lempung-keggin cukup tersedia untuk mengadsorpsi sejumlah kation yang dikontakkan. Pada konsentrasi logam yang sangat kecil, rasio ion logam terhadap jumlah situs adsorpsi juga kecil sehingga adsorpsi tidak tergantung pada jumlah adsorben. Tetapi ketika jumlah kation meningkat di dalam larutan, maka kompetisi sesama kation untuk mendapatkan situs adsorpsi akan semakin kuat dan hanya situs adsorpsi yang bersesuaian saja yang mampu mengikat kation Cu(II) dari dalam larutan (Gupta dan Bhattacharyya, 2008; Yu et al, 2008). Pada gambar tersebut terlihat SAK mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dari pada WK. Kenyataan ini didukung oleh nilai KTK dari kedua lempung, dimana KTK pada SAK lebih banyak dari pada WK.

Isoterma Freundlich dan Langmuir telah digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan proses adsorpsi Cu(II) pada lempung-keggin. Karena nilai koefisien korelasi R^2 untuk model Freundlich (SAK 0,99 dan WK 0,97) lebih tinggi dari pada model Langmuir (SAK 0,89 dan WK 0,2), maka adsorpsi kation Cu(II) pada lempung-keggin lebih sesuai dengan isoterma Freundlich. Plot $\log C_e$ versus $\log q_e$ dari model isoterma Freundlich diberikan dalam Gambar 5.5 B (model

Langmuir tidak ditampilkan disini). Nilai $1/n$ dan K_f (Tabel 5.3) yang lebih tinggi pada SAK menggambarkan bahwa heterogenitas permukaan dan kapasitas adsorpsinya lebih tinggi dari pada lempung WK. Nilai $1/n > 1$ merefleksikan bahwa lempung-keggin tidak menunjukkan kemampuan mengadsorpsi Cu(II) yang kuat di dalam larutan (Mane et al, 2007).



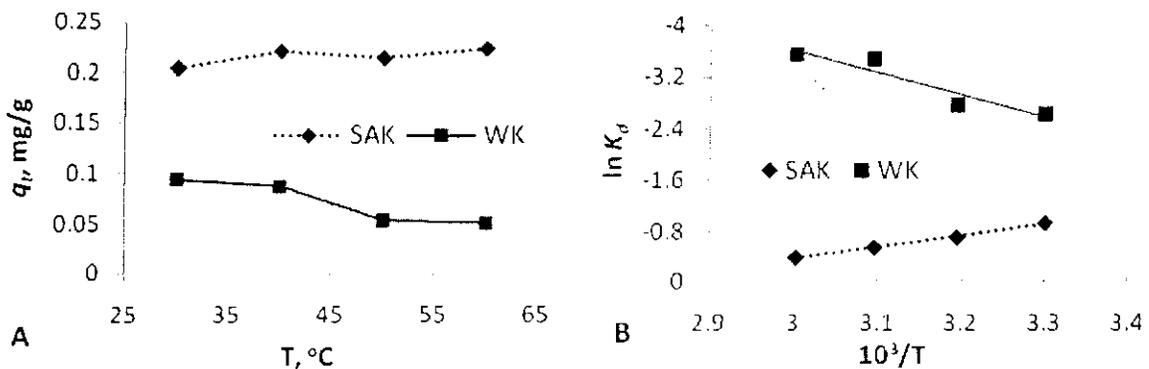
Gambar 5.5. A. Pola adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin WK dan SAK terhadap konsentrasi B. Plot $\log C_e$ versus $\log q_e$ dari model isoterma Freundlich (T 30°C; t 30 menit; w 10g/L).

Berbeda dengan lempung-keggin WK dan SAK, Muhdarina et al (2008) melaporkan adsorpsi kation Cu(II) oleh lempung tanpa Keggin, INC-O dan INC-SA, mengikuti isoterma Langmuir. Lempung lain yang dipilar dengan ion Keggin seperti bentonit-Keggin (Al-PILC) mengikuti isoterma Freundlich dan Langmuir untuk adsorpsi fosfat (Tian et al, 2009) dan montmorilonit-Keggin ((Al-K10 dan Al-KSF) memenuhi model Freundlich dan Dubinin-Raduskevich untuk mengadsorpsi antibiotik trimethoprim (Molu dan Yurdakoc, 2009).

5.2.3 Efek temperatur dan termodinamika adsorpsi

Adsorpsi kation Cu(II) dari larutan oleh lempung SAK meningkat ketika temperatur ditingkatkan dari 303 K sampai 333 K, tetapi sebaliknya pada WK jumlah Cu(II) teradsorpsi menurun dengan kenaikan temperatur (Gambar 5.6 A). Adsorpsi pada SAK berlangsung secara endotermis, sedangkan pada WK adalah eksotermis. Menurut Weber, 1972 (Mane et al, 2007) sorpsi merupakan proses eksotermis, kapasitas sorpsi akan berkurang bila ada kenaikan temperatur sistem adsorben-adsorbat. Tetapi bila proses adsorpsi dikawal oleh proses difusi, dalam hal ini difusi pori melalui perpindahan intra-partikel, maka kapasitas sorpsi meningkat dengan kenaikan temperatur. Hal ini karena proses difusi merupakan proses yang endotermis.

Keterlibatan proses difusi intra-partikel pada SAK didukung oleh hasil analisis secara kinetika, seperti dijelaskan pada point 5.2.1. Adsorpsi kation yang sama pada lempung tanpa Keggin (INC-O dan INC-SA), keduanya menunjukkan perilaku yang eksotermis.



Gambar 5.6. A. Pola adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin WK dan SAK terhadap temperatur, B. Plot T versus $\ln K_d$ (t 30 menit; C_0 2,5 mg/L; w 10g/L).

Plot $\ln K_d$ versus $1/T$ (Gambar 5.6 B) dapat memperkirakan besarnya entalpi, entropi dan energi bebas Gibbs yang diberikan oleh peristiwa adsorpsi Cu(II) oleh kedua lempung-keggin, SAK dan WK. Dalam Tabel 5.3, nilai entalpi SAK 14,811 J/mol (proses endotermis) dan WK -29,147 J/mol (proses eksotermis). Adsorpsi eksotermis dapat dijelaskan sebagai berikut: dengan kenaikan temperatur, kelarutan ion logam di dalam larutan bertambah sebagai akibat dari pada pengurangan konsentrasi ion logam pada fasa padat, artinya ada kecenderungan ion logam terlepas dari fasa padat menuju fasa cair ketika temperatur naik, sehingga desorpsi lebih memungkinkan dari pada adsorpsi (Gupta dan Bhattacharyya, 2008). Dari besarnya nilai entalpi yang diberikan, maka keduanya tergolong kepada fisisorpsi, karena rentang entalpi 40-120 kJ/mol merupakan proses kemisorpsi, sedangkan entalpi fisisorpsi < 40 kJ/mol (Ngah dan Hanafiah 2008). Interaksi secara fisisorpsi menandakan lemahnya ikatan yang terbentuk di antara kation Cu(II) dengan lempung-keggin. Hasil ini sesuai dengan nilai laju adsorpsi awal h yang cukup kecil, seperti point 5.2.1.

Eksotermisitas WK diikuti dengan penurunan entropi dan peningkatan energi bebas Gibbs. Penurunan entropi ($-\Delta S$) menyatakan penurunan ketidakteraturan pada antara muka padat/cair sebagai akibat dari mobilitas ion-ion di dalam larutan karena pengaruh kenaikan temperatur. Dengan demikian proses adsorpsi menjadi tidak spontan. Sebaliknya sifat endotermis pada SAK diikuti pula dengan peningkatan entropi dan penurunan energi bebas Gibbs. Peningkatan entropi berarti terjadi kenaikan derajat kebebasan spesies teradsorpsi Cu(II) pada

SAK sebagai akibat dari pada kenaikan temperatur proses adsorpsi. Peristiwa ini dapat mengurangi energi Gibbs dan proses adsorpsi berjalan secara spontan.

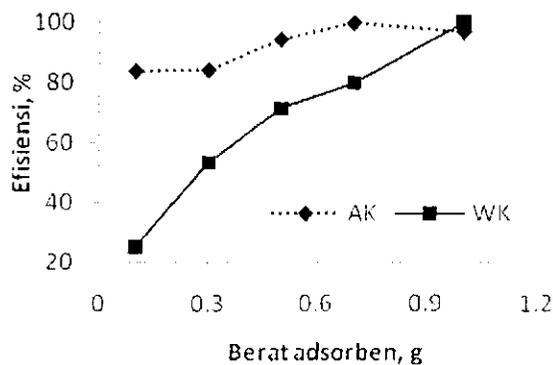
Lempung tanpa Keggin, INC-O dan INC-SA sebagai hasil modifikasi lempung alam, keduanya menunjukkan penurunan entalpi dan entropi serta kenaikan energi bebas Gibbs dalam mengadsorpsi kation Cu(II) dari dalam larutan (Muhdarina et al, 2008). Hasil penelitian lain menyebutkan adsorpsi fosfat oleh bentonit-Keggin (Al-PILC) memberikan entalpi, entropi dan energi bebas Gibbs yang negatif (Tian et al, 2009), sedangkan montmorilonit-Keggin ((Al-K10 dan Al-KSF) menunjukkan entalpi, entropi dan energi bebas Gibbs yang positif untuk mengadsorpsi antibiotik trimethoprim (Molu dan Yurdakoc, 2009).

Tabel 5.3 Nilai parameter kinetika, isoterma dan termodinamika adsorpsi Cu(II) oleh lempung - keggin, WK dan SAK (WK: lempung alam-Keggin, SAK: lempung-sodium asetat-Keggin).

Parameter	WK	SAK
Kinetika order-kedua pseudo		
q_e , model, mg/g	0,1086	0,1519
q_e , exp, mg/g	0,1141	0,1506
Deviasi, %	5,06	0,85
h , mg/g min	0.039	0.075
k , g/mg min	3,292	3,261
R^2	0,98	0,99
Model difusi intra-partikel		
C	0,083	0.13
k_i , g/mg min ^{-0.5}	0,0024	0,0019
R^2	0,32	0,57
Isoterma Freundlich		
1/n	1,0814	1,2568
n	0,9247	0,7957
q_e , exp, mg/g	0,4281	1,1523
K_f , L/g	0,0452	0,8545
R^2	0,97	0,99
Termodinamika		
ΔH , J/mol	-29,147	14,811
ΔS , J/molK	-117,592	41,26
ΔG , kJ/mol		
303 K	35,6	-12,5
313 K	36,8	-12,9
323 K	37,9	-13,3
333 K	39,1	-13,7
R^2	0,89	0,99

5.2.4 Efek berat adsorben pada kapasitas adsorpsi

Berat adsorben dalam proses adsorpsi merupakan parameter penting dalam hubungannya dengan konsentrasi awal larutan adsorbat. Gambar 5.7 menunjukkan kapasitas adsorpsi kation Cu(II) oleh lempung WK terus meningkat dari 25% sampai dengan 100% pada berat adsorben 10 g/L sampai dengan 100 g/L, artinya jumlah situs adsorpsi bertambah secara perlahan-lahan dan signifikan seiring dengan kenaikan berat adsorben yang kontak dengan larutan adsorbat. Namun tidak demikian halnya pada SAK, kapasitas adsorpsi Cu(II) mencapai 84% pada berat adsorben 10 g/L dan 100% pada berat adsorben 70 g/L, artinya pada berat adsorben yang rendah jumlah situs adsorpsi yang tersedia pada adsorben SAK sangat efektif untuk mengadsorpsi Cu(II), tetapi penambahan berat adsorben berikutnya tidak banyak berpengaruh terhadap kapasitas Cu(II) yang teradsorpsi. Perbedaan ini disebabkan karena permukaan SAK lebih heterogen dari pada WK, seperti terlihat pada Gambar 5.3 SAK@ yang permukaannya terdiri dari pelat dan butiran. Dengan heterogenitas permukaan yang tinggi dapat dimaknai bahwa distribusi situs aktif tidak merata di setiap bagian adsorben. Jadi didapati pada berat adsorben 10 g/L, kemampuan adsorpsi Cu(II) oleh SAK adalah 3,3 kali lebih besar dari pada WK dalam 10 ml larutan Cu(II) 2,5 mg/L.



Gambar 5.7 Pola adsorpsi Cu(II) oleh lempung-keggin WK dan SAK terhadap berat adsorben (T 60°C; t 30 menit; C_0 2,5 mg/L).