

Peningkatan Daya Serap Karbon Aktif Terhadap Ion Logam Hexavalent Chromium (Cr^{VI}) Melalui Modifikasi Dengan Cationic Surfactant (Ethylinediamine)

Increasing of the Activated Carbon Modified Cationic Surfactant Adsorption Capacity for Hexavalent Chromium (Cr^{VI})

Eko Tri Sumarnadi Agustinus, Anggoro Tri Mursito, dan Happy Sembiring

ABSTRAK Karbon aktif telah digunakan sebagai adsorban dalam pengolahan limbah cair industri dan terbukti mampu menyerap ion logam berat seperti Hg, Cu, Fe, namun kurang efektif terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}). Salah satu upaya peningkatan daya serap karbon aktif dapat dilakukan melalui modifikasi dengan *cationic surfactant* (*Ethylinediamine*, *EDA*), yakni dengan mengubah tegangan permukaan karbon aktif dari yang bersifat *hydrophobic* menjadi *hydrophilic*. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh prototip SMAC (*Surfactant Modified Activated Carbon*), yakni karbon aktif yang dimodifikasi dengan surfaktan, sehingga mempunyai daya serap tinggi terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}). Guna mencapai tujuan tersebut dilakukan *treatment* karbon aktif dari batubara dengan metoda *batch*. Parameter kimia dan fisika yang meliputi perubahan pH, suhu proses, waktu kontak, konsentrasi surfaktan

dan berat karbon aktif digunakan sebagai parameter eksperimen. Mekanisme pembentukan prototip SMAC yang menyangkut karakteristik penyerapan diobservasi melalui analisis *X-RD* (*X-Ray Diffractometer*), *FTIR* (*Fourier Transformer Infra Red*), sedangkan daya serap terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) diamati melalui analisis *UV Spectrophotometry*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan daya serap karbon aktif termodifikasi (SMAC) terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) sebesar dua kali lipat dibandingkan dengan karbon aktif biasa, dicapai pada kondisi pH 2, konsentrasi karbon aktif 5 g/liter dalam waktu kontak 2 jam.

Kata Kunci : Karbon aktif, modifikasi, surfaktan, peningkatan daya serap, hexavalent chromium.

Naskah masuk : 11 Mei 2012
Naskah selesai revisi : 4 Januari 2013
Naskah siap cetak : 23 Mei 2013

Eko Tri Sumarnadi Agustinus
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : esumarnadi@gmail.com

Anggoro Tri Mursito
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : anggorotrim@yahoo.com

Happy Sembiring
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : sembiring_happy@yahoo.co.id

ABSTRAC Although activated carbon has long been used as an adsorbent in waste water treatment industry and has proven able to absorb heavy metal ions such as Hg, Cu, Fe, it is still less effective against metal ion hexavalent chromium (Cr^{VI}). One effort to increase the absorptive capacity of activated carbon is through modification of the cationic surfactant (*Ethylinediamine*, *EDA*), by altering the surface tension of activated carbon from hydrophobic to hydrophilic nature. The objective is to obtain a prototype of SMAC (*Surfactant Modified Activated Carbon*), which is the activated carbon modified with a surfactant that has a high absorption of the metal ion hexavalent chromium (Cr^{VI}). The activated carbon was treated using batch method. Chemical and physical parameters, which include changes in pH,

process temperature, contact time, concentration of surfactant and activated carbon weight, were used as an experimental parameter. Prototypes SMAC formation mechanism involving absorption characteristics observed through X-RD analysis (X-Ray Diffractometer), FTIR (Fourier Transformer Infra-Red), while the absorption of the metal ion hexavalent chromium (Cr^{VI}) was observed through the analysis of UV spectrophotometry. The experimental results show that increasing absorption capacity of modified activated carbon (SMAC) of the metal ion hexavalent chromium (Cr^{VI}) increases by two fold when compared with ordinary activated carbon. This condition was achieved at pH 2, when the activated carbon concentration was 5 g/liter within 2 hours contact.

Keyword: Surfactant, modified, activated carbon, increasing adsorptive capacity, hexavalent chromium.

PENDAHULUAN

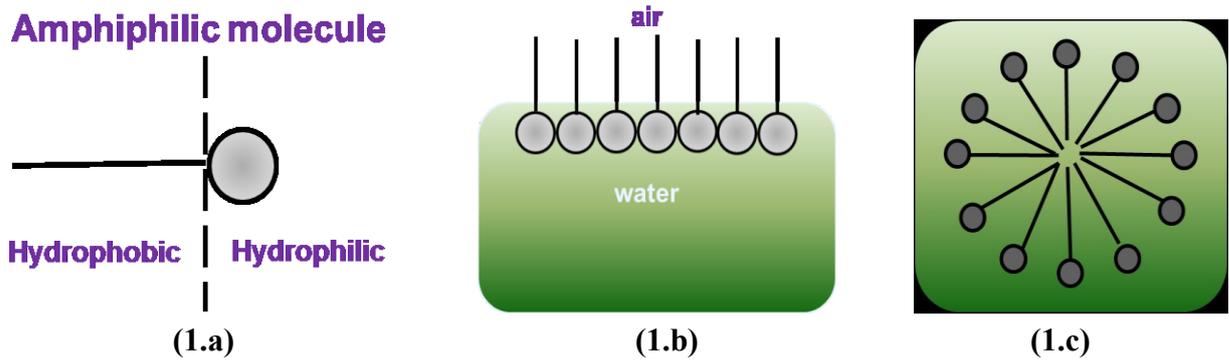
Pada penanganan limbah cair industri di dalam sebuah IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah), sering kali digunakan karbon aktif sebagai adsorban. Karbon aktif dari batubara pada umumnya, memiliki rongga pori berdiameter rata-rata sebesar $21,6 \text{ \AA}$ dengan luas permukaan yang cukup besar $1,95 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan volume pori $10,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$, sehingga memungkinkan untuk menyerap adsorbat. Karbon aktif telah diketahui mampu menyerap ion logam berat seperti ion logam Hg, Cu, Fe, namun masih kurang efektif terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Choi et al., 2009). Sementara air sungai yang mengandung *pollutant* seperti partikel logam berat (*chromium*) yang melebihi baku mutu ($0,05 \text{ mg/liter}$) dapat membahayakan bagi kesehatan manusia (Effendi, 2003), seperti terjadinya pembengkakan pada saluran pencernaan dan ginjal, serta mematikan sel otak sebagai akibat terakumulasinya endapan *hexavalent chromium* (Balbich dan Davis, 1981). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh prototip SMAC (*Surfactant Modified Activated Carbon*), yakni karbon aktif yang telah dimodifikasi dengan surfaktan, sehingga mempunyai daya serap lebih tinggi khususnya terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) jika dibandingkan dengan karbon aktif biasa.

Salah satu upaya peningkatan daya serap karbon aktif dapat dilakukan melalui modifikasi karbon aktif dengan menggunakan surfaktan kelompok kationik seperti (*Ethylinediamine*, EDA). Konsep yang mendasarinya adalah adanya perbedaan tegangan permukaan dari karbon aktif, antara yang bersifat *hydrophobic* dan *hydrophilic*. Karbon aktif yang bersifat *hydrophobic* telah lama diketahui mempunyai kapasitas daya serap tinggi, tetapi hanya untuk *organic pollutant* dan tidak untuk *ionic pollutant*. Sementara mekanisme adsorpsi *ionic pollutant* pada umumnya adalah *electrostatic interaction* atau *ion exchange* pada tegangan permukaan yang bersifat *hydrophilic*. Melalui rekayasa teknologi, memungkinkan surfaktan terserap pada permukaan partikel karbon aktif, dan akan mengubah sebagian sifat permukaan karbon aktif dari yang bersifat *hydrophobic* menjadi bersifat *hydrophilic*, sehingga dapat meningkatkan daya serap karbon aktif khususnya terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}).

Hipotesis dalam penelitian ini yaitu bahwa melalui pembesaran kanal rongga pori dan perubahan sebagian besar sifat permukaan pada karbon aktif diharapkan mampu meningkatkan daya serap karbon aktif tersebut khususnya terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}). Guna membuktikan hipotesis tersebut dilakukan melalui eksperimen (*treatment*) metoda *batch* dengan menggunakan parameter kimia dan fisika. Perubahan pH, suhu proses, dan konsentrasi karbon aktif serta lama waktu kontak akan digunakan sebagai parameter eksperimen. Sementara karakteristik dan mekanisme perubahan karbon aktif menjadi SMAC serta uji penyerapan terhadap *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) diobservasi melalui analisis X-RD (*X-Ray Diffractometer*), FTIR (*Fourier Transformer Infra-Red*) dan UV Spectrophotometry. Hasil eksperimen tersebut menjadi penting untuk dilakukan, karena diharapkan mampu memberikan solusi terhadap penanganan limbah cair industri penyamakan kulit, khususnya di Desa Sukaregang, Kabupaten Garut maupun di Indonesia pada umumnya.

METODE

Secara teoritis tegangan permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya sebagai akibat

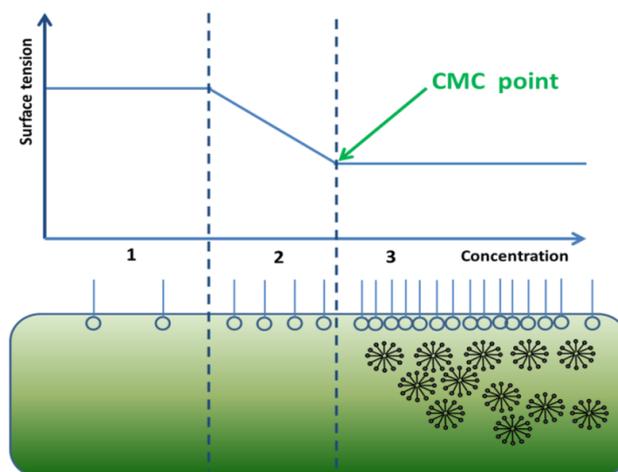


Gambar 1. Diagram ilustrasi *amphiphilic molecule* (a) dalam kondisi normal (b) dalam air dan (c) dalam larutan bersurfaktan (konsentrasi rendah). (Sumber: Biolin Scientific, 2013).

ketidak setimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi fisika pada umumnya diakibatkan oleh kondensasi molekuler dalam kapiler-kapiler dari padatan (Zhenhua *et al.*, 2009). Secara umum, karbon aktif bersifat *hydrophobic* (tidak suka akan air) sehingga mampu menyerap *organic pollutant* namun masih kurang efektif untuk mengikat *ionic pollutant* seperti ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}). Karbon aktif biasanya cenderung hanya untuk penukar ion namun kurang efektif mengadsorpsi ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}), sedangkan karbon aktif yang telah dimodifikasi dengan surfaktan (SMAC) lebih bersifat *hydrophilic*, sehingga dapat mengadsorpsi ion logam *hexavalent*

chromium (Cr^{VI}) (Rios *et al.*, 2003). Oleh karena itu, permasalahan dalam konteks penelitian ini adalah bagaimana mengubah sifat tegangan permukaan karbon aktif dari batubara yang bersifat *hydrophobic* menjadi bersifat *hydrophilic* secara optimal dengan menggunakan *cationic surfactant* seperti *Ethylenediamine* (EDA).

Surfaktan adalah bahan kimia yang mempunyai molekul dengan bagian tangkai/ batang bersifat *hydrophobic* dan pada bagian kepala bersifat *hydrophilic* serta mampu menempel pada permukaan padatan (*solid*) (Hui, 1996). Sebagai gambaran umum tentang karakter molekul seperti disajikan pada diagram Gambar 1, dimana

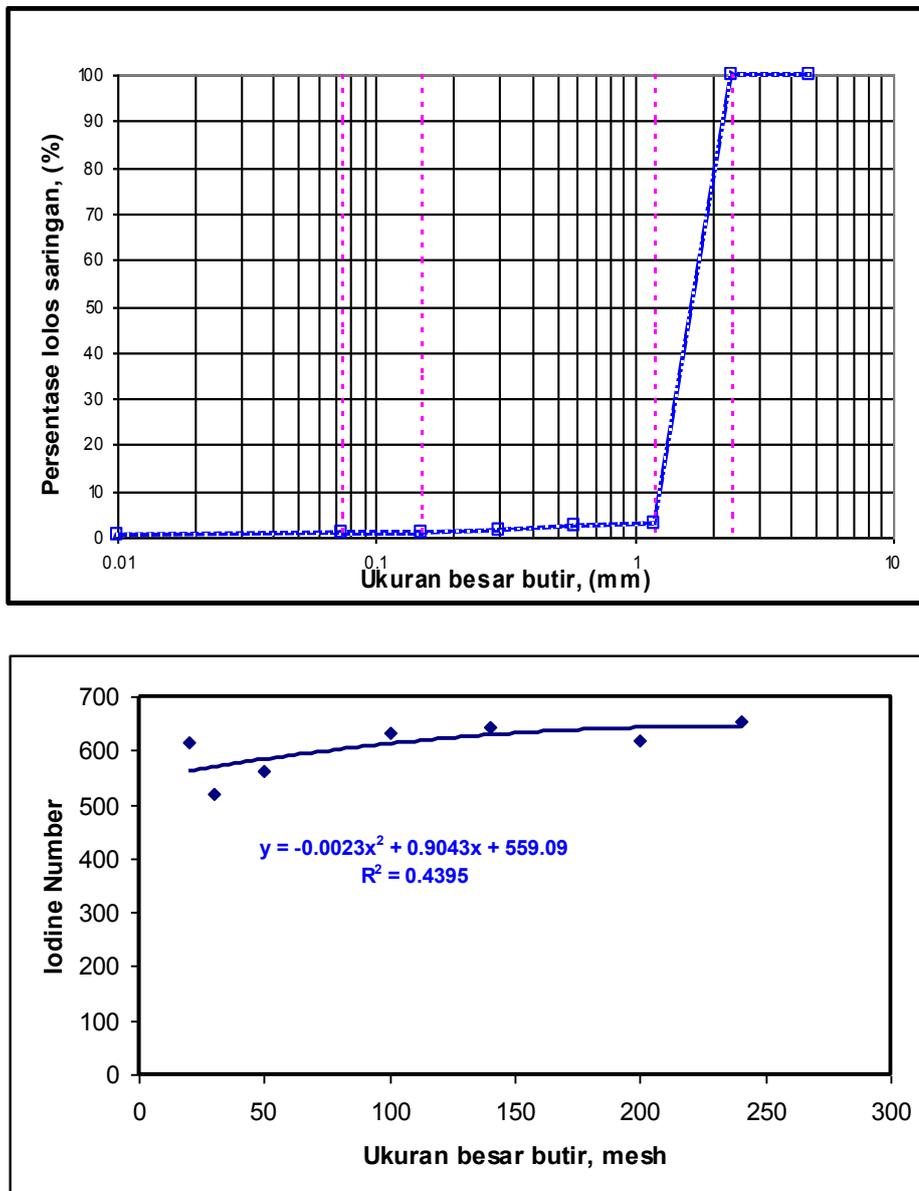


Gambar 2. Diagram ilustrasi perubahan tegangan permukaan versus konsentrasi surfaktan (Sumber: Biolin Scientific, 2013).

gambar tersebut menunjukkan bahwa pada dasarnya molekul mengandung 2 (dua) tipe komponen yakni : *hydrophobic* dan *hydrophilic* yang disebut sebagai *amphiphilic molecule* (Gambar 1.a). Jika molekul berada di dalam air, maka bagian polar berinteraksi dengan air sedangkan bagian yang non polar berinteraksi dengan udara dan/atau cairan non polar (Gambar 1.b), sementara jika terjadi perubahan tegangan permukaan misalnya molekul berada dalam larutan bersurfaktan (konsentrasi rendah) maka molekul akan membentuk pola melingkar (*circle*)

seperti diperlihatkan pada (Gambar 1.c).

Secara teoritis perubahan tegangan permukaan sebagai akibat perubahan konsentrasi surfaktan diilustrasikan pada diagram Gambar 2, dimana titik CMC (*critical micelle concentration*) sebagai indikator kondisi optimal. Pada gambar tersebut diperlihatkan fase perubahan tegangan permukaan versus konsentrasi surfaktan. Pada fase (1) konsentrasi surfaktan yang sangat rendah, perubahan tegangan tidak nampak signifikan bahkan kadang kala tidak terdeteksi.



Gambar 3. Hasil analisis ukuran butir dan *iodine number* karbon aktif dari *tekMira*.

Fase (2) dengan bertambahnya konsentrasi surfaktan akan menurunkan tegangan permukaan. Fase (3) terjadi bilamana permukaan karbon aktif seluruhnya telah dimuati oleh surfaktan, sehingga tidak akan terjadi lagi perubahan tegangan permukaan. Kondisi tersebut dicapai pada titik 0,5 CMC, dalam kasus penelitian ini dicapai pada larutan dengan konsentrasi EDA sebesar 1.000 ppm.

Bahan eksperimen

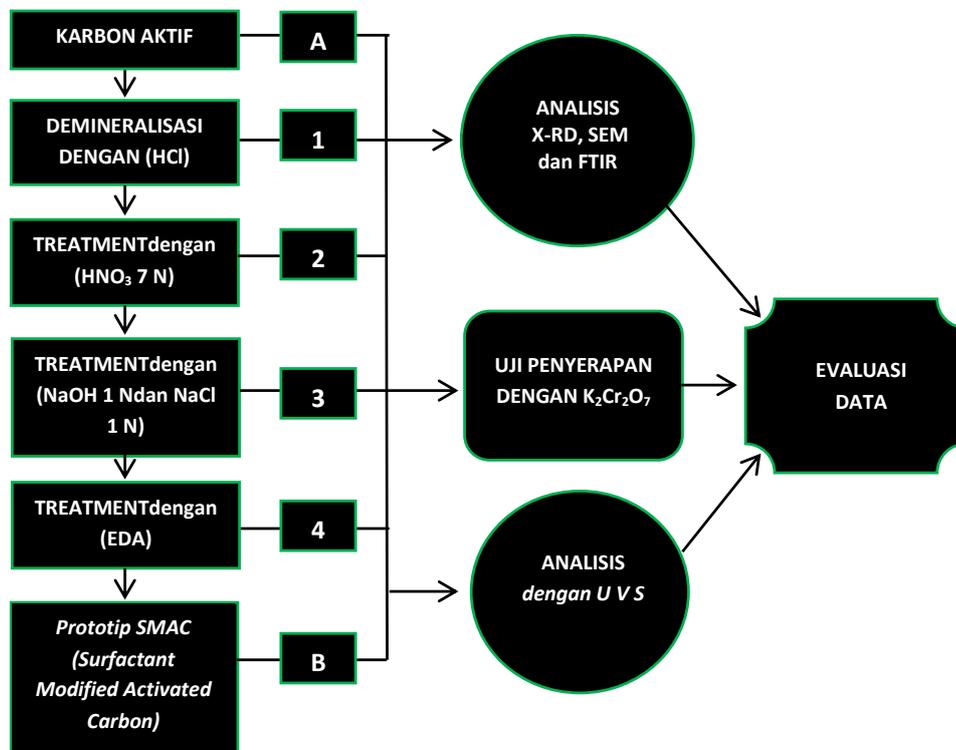
Bahan eksperimen berupa karbon aktif dari hasil karbonisasi batubara berkadar rendah yang diperoleh dari Pusat Penelitian Teknologi Mineral dan batubara (*tekMira*) Bandung. Sebagai gambaran tentang distribusi fraksi ukuran besar butir karbon aktif dan korelasinya dengan hasil analisis *iodine number* disajikan pada Gambar 3, nampak bahwa distribusi ukuran besar butir sebagian besar (97%) terkonsentrasi pada ukuran besar butir (-10 + 20 mesh), sedangkan nilai *iodine number* berkisar antara (518,22 - 652,88). Mengingat bahwa eksperimen masih dalam skala laboratorium dan berdasarkan indikator nilai *iodine number* > 500, sehingga

dalam eksperimen ini dipilih ukuran besar butir (-200 mesh) dengan nilai *iodine number* sekitar (652,88) yang konsekuensinya adalah memperkecil ukuran besar butir.

Tahapan Penelitian

Konsep pembentukan prototip SMAC dalam penelitian ini dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dengan menggunakan parameter kimia dan fisika dengan tahapan eksperimen sebagai berikut (Gambar 4):

1. Demineralisasi karbon aktif, dilakukan melalui pencucian dengan menggunakan *ultrasonic vibrator*, selanjutnya karbon aktif direndam dan dididihkan dengan menggunakan HCl 1 M dengan rasio (50 g : 1 L) pada suhu 110°C, *stiring speed* 350 rpm, selama 4 jam. Karbon aktif kemudian disaring dan dicuci dengan aquades dan selanjutnya dikeringkan dalam suhu kamar selama 24 jam.
2. *Treatment* melalui oksidasi karbon aktif dengan menggunakan HNO₃ 7 N dengan rasio (10 g : 50 mL), pada suhu 90°C, *stiring speed*



Gambar 4. Bagan alir tahapan eksperimen.

350 rpm, selama 12 jam. Karbon aktif disaring dan dicuci dengan aquades, dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam.

3. *Treatment* dengan NaOH 1 N dan NaCl 1 N (10 mL : 10 mL : 1 g), direndam pada suhu kamar atau 30°C, *stiring speed* 100 rpm, selama 48 jam. Karbon aktif disaring dan dicuci dengan aquades, dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam.
4. *Treatment* (introduisir) karbon aktif tersebut dengan (EDA, Ethylenediamine) konsentrasi 1.000 ppm (1 g : 200 mL), direndam pada suhu kamar, dengan *stiring speed* 100 rpm, selama 12 jam dan pH 7. Disaring dan dikeringkan pada suhu kamar selama 24 jam.

Hasil eksperimen yang menyangkut karakteristik daya serap dan mekanisme SMAC terhadap *hexavalent chromium*(Cr^{VI}) diobservasi melalui analisis X-RD, FTIR (*Fourier Transformer Infra Red*) dan *UV Spectrophotometry*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

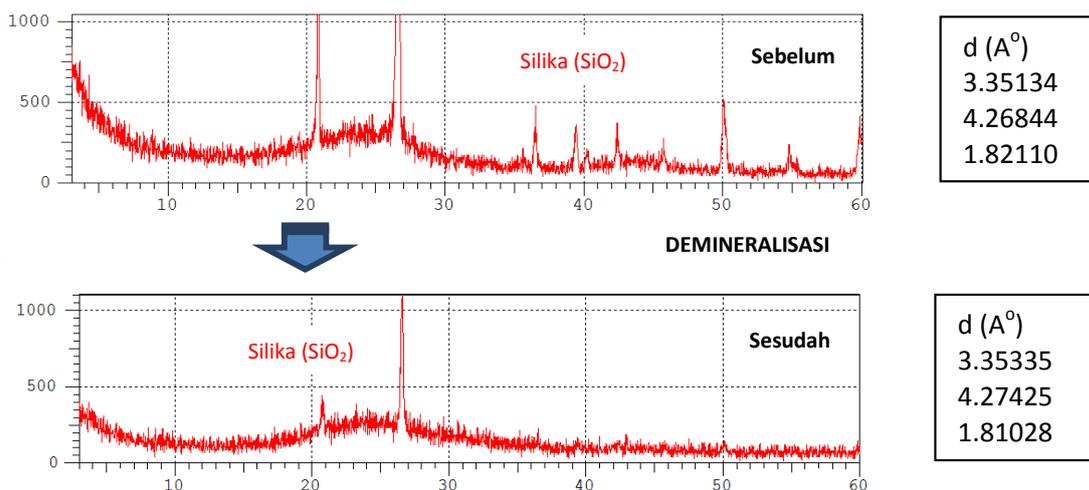
Mekanisme pembentukan SMAC

Analisis X-RD hanya dilakukan terhadap conto karbon aktif sebelum dan sesudah demineralisasi dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5

Kondisi tersebut juga didukung oleh fotomikrograf hasil analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang menunjukkan masih adanya butiran silika dalam karbon aktif seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Walaupun dalam demineralisasi telah terjadi pengurangan mineral silika (ditunjukkan oleh perbedaan jumlah puncak-puncak defragtogram silika), namun pembesaran rongga pori (*d-spacing*) belum dan/atau tidak menunjukkan tingkat perubahan d (Å) yang signifikan.

Mekanisme perubahan *carbon functional group* pada karbon aktif sebelum dan setelah tahapan penyiapan prototip SMAC dapat terlihat jelas pada *spectra FTIR* (Gambar 7), khususnya pada *oxygen functional group* (1300-1000 cm^{-1}) (Xuguang, 2005) dan pada *aromatic hydrogen* (900-700 cm^{-1}) (Ibarra et al, 1996). Peningkatan *relative area intensity* pada *aliphatic ethers* (1070 cm^{-1}) dan *C-O-R structure* (1150 cm^{-1}) dan *C-O stretch* dan *O-H bond* (1200 cm^{-1}) dikarenakan terjadi oksidasi yang diakibatkan oleh penambahan asam dan panas (HCl dan HNO₃).

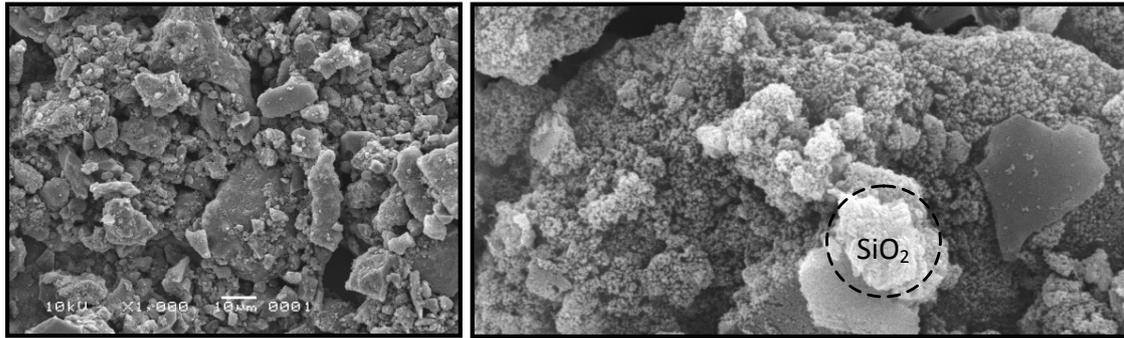
Perlakuan pencucian menggunakan HCl 1M dan pemanasan pada suhu 110°C selama 4 jam dimaksudkan untuk *demineralisation* atau pengurangan *mineral matter* pada karbon aktif. Terjadinya peningkatan *relative area intensity*



Gambar 5. Difraktogram X-RD karbon aktif sebelum dan sesudah demineralisasi.

yang memperlihatkan bahwa karbon aktif tersebut masih mengandung mineral pengotor berupa mineral silikat atau kuarsa (SiO₂).

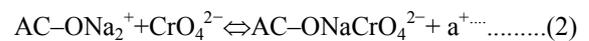
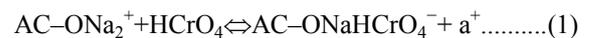
pada *oxygen functional group* tahap ini belum signifikan apabila dibandingkan dengan perlakuan selanjutnya, yakni dengan HNO₃ 7N



Gambar 6. Fotomikrograf SEM (Scanning Electron Microscope) dari karbon aktif.

pada suhu $90^{\circ}C$ selama 4 jam. Perlakuan pada saat pemanasan dengan HNO_3 tersebut, *oxygen acid groups* $-COOH$, $-OH$, $-COOR$ akan terbentuk terlebih dahulu, yang kemudian akan bereaksi dengan H^+ untuk membentuk ion positif hidronium seperti $-COOH_2^+$, H_2^+ , $=C=OH^+$ (Liu *et al.*, 2007). Selanjutnya, pada perlakuan pemanasan dengan $NaOH + NaCl$ 1N pada suhu $30^{\circ}C$ selama 48 jam, H^+ dari karbon akan tergantikan oleh Na^+ , yang menyebabkan terjadinya penurunan tingkat *surface acidity*. Penambahan (*EDA*, *Ethylenediamine*) pada konsentrasi 1000 ppm (1 g : 200 mL), pada suhu kamar, 100 rpm, selama 12 jam dan pH 7, menyebabkan perubahan *relative area intensity* pada *carbon functional group* lebih intensif sebagai akibat terjadinya reaksi HNHR dengan *surface group* $-COCl$ (Rios *et al.*, 2003). Mekanisme penyerapan ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) yang diharapkan adalah pertukaran kation pada *carboxylic groups* seperti yang digambarkan pada Gambar 8.

Terjadinya peningkatan terbalik dan *relative area intensity* pada *base line spectra FTIR* ini, kemungkinan telah terjadi pada saat pencucian dengan HCl, kemudian pada HNO_3 dan $NaOH + NaCl$, yaitu negative 1760 cm^{-1} ($COOH$) dan negative 1600 cm^{-1} (COO^-) akan meningkatkan penyerapan terhadap Cr. Kontrol pH pada saat penyerapan limbah cair yang mengandung Cr akan sangat krusial. Pada saat penggantian H^+ oleh Na^+ , adsorpsi $HCrO_4$ dan CrO_4^{2-} kemungkinan reaksi yang akan terjadi antara lain:

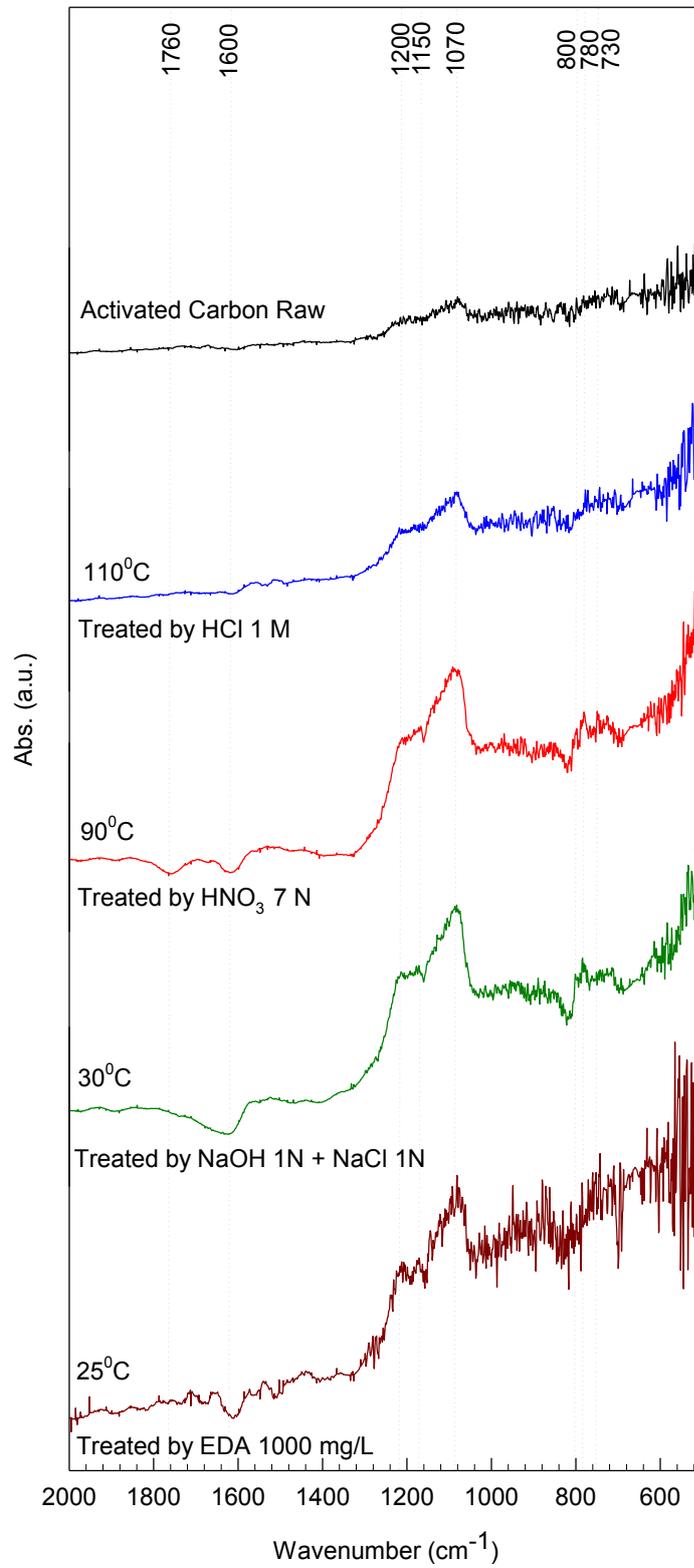


Penyebab terjadinya peningkatan penyerapan Cr sebagai akibat lebih banyaknya *oxygen surface acidity* dan pengontrolan pH yang terjadi yang diberikan oleh *surface group* itu sendiri. Pengaruh pH terhadap penyerapan Cr sangat besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 9 hampir semua perlakuan karbon aktif memberikan daya serap tinggi pada pH 2 (asam) dan dengan semakin meningkatnya kondisi pH hingga pH netral daya serap cenderung menurun.

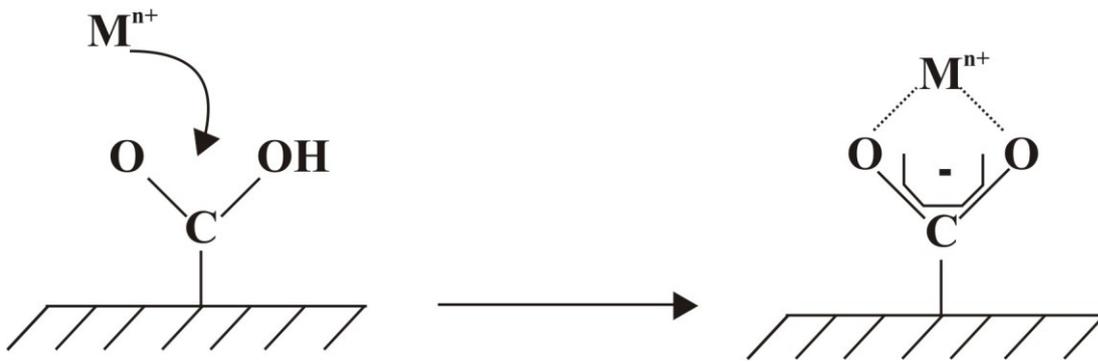
Hal serupa juga terjadi pada pengamatan pengaruh pH dalam penyerapan (Cr^{VI}) oleh serat sabut kelapa hijau, maupun dalam penyerapan (Cr^{VI}) oleh sekam juga terjadi penyerapan optimum pada pH 2 dan cenderung menurun dengan kenaikan pH. Ketergantungan logam yang teradsorpsi pada pH sangat dipengaruhi oleh jenis dan keadaan ionik gugus fungsi pada adsorben dan juga spesiasi Cr^{VI} dalam larutan. Dengan demikian, uji daya serap selanjutnya dilakukan pada kondisi asam (pH 2).

Peningkatan daya serap SMAC

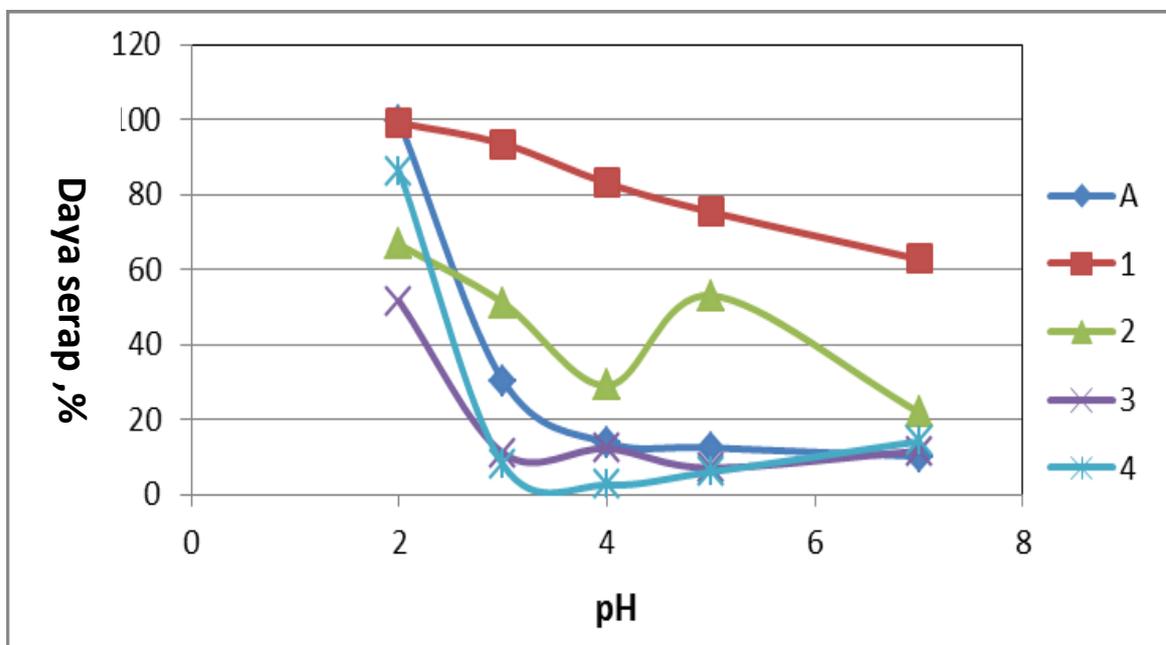
Peningkatan daya serap terhadap Cr^{VI} diuji dengan menggunakan larutan standar yang terbuat dari larutan $K_2Cr_2O_7$ dan larutan *diphenyl carbazid*. Larutan standar tersebut diukur melalui analisis *UV Spectrofotometry*, dan hasil pengukuran disajikan dalam bentuk grafik linier seperti diperlihatkan pada Gambar 10, dimana $R^2 \leq 1$ menunjukkan tingkat validitas data.



Gambar 7. Spectra FTIR karbon aktif sebelum dan sesudah tahap penyiapan SMAC.



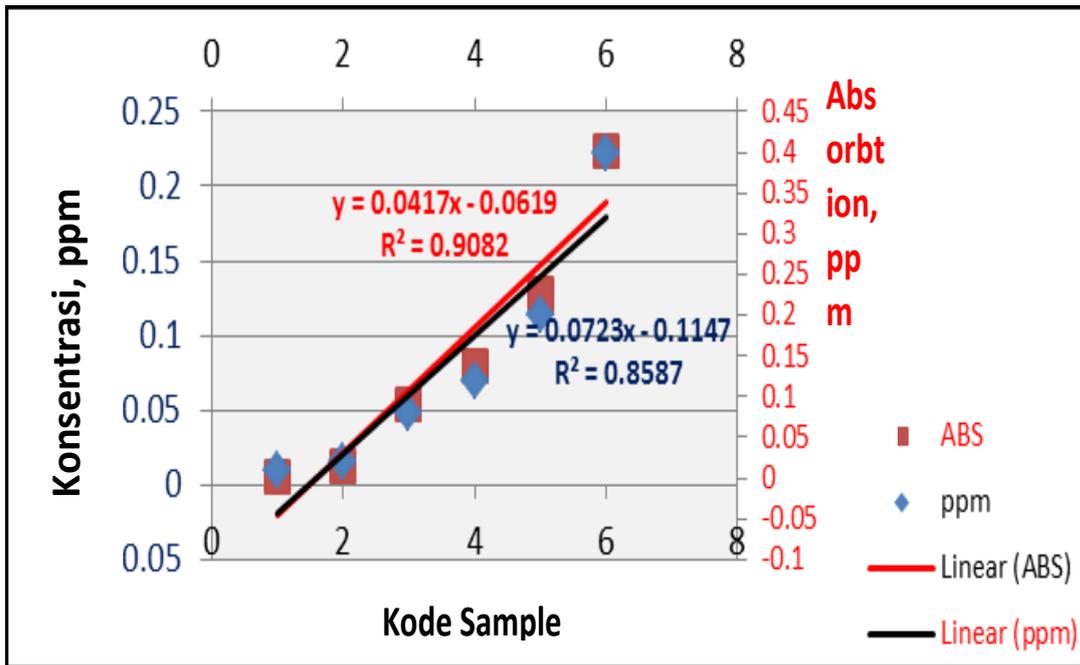
Gambar 8. Mekanisme pertukaran kation pada *carboxylic groups*.



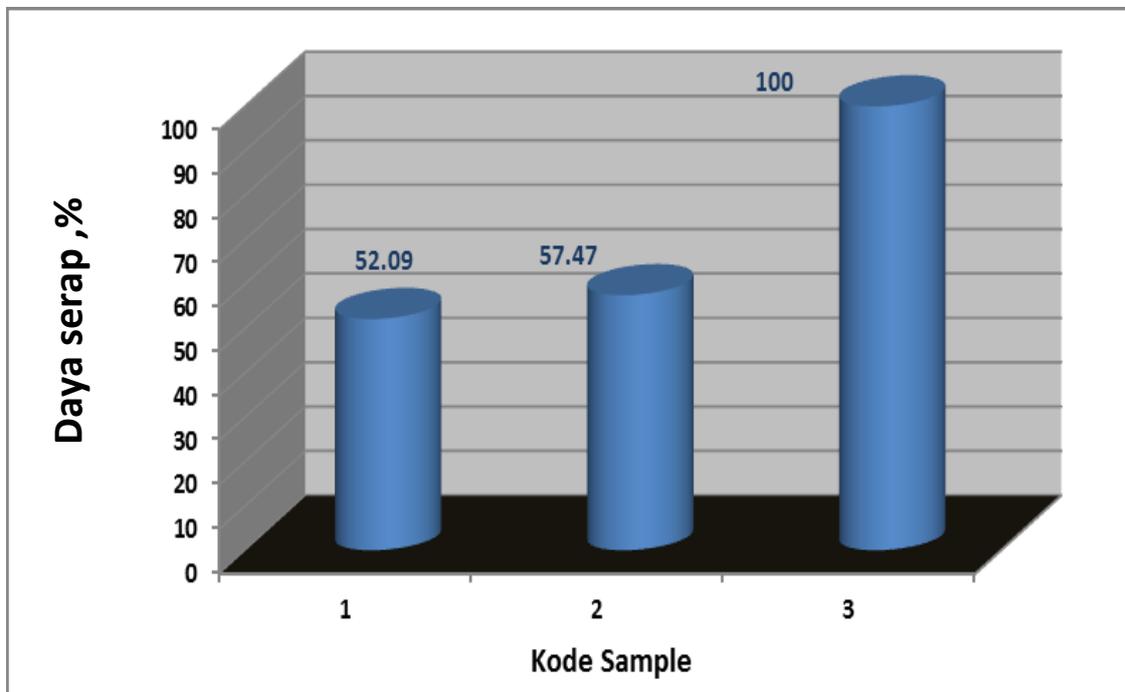
Gambar 9. Pengaruh kondisi pH terhadap daya serap karbon aktif.

Daya serap, dinyatakan dalam %, menunjukkan perbandingan antara kandungan ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) yang terserap oleh karbon aktif terhadap ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) dalam larutan standar dikalikan 100 %. Secara matematis dinyatakan dalam persamaan berikut: Daya serap (%) = $(a-b)/a \times 100$ %, dimana (a) kandungan ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) dalam larutan

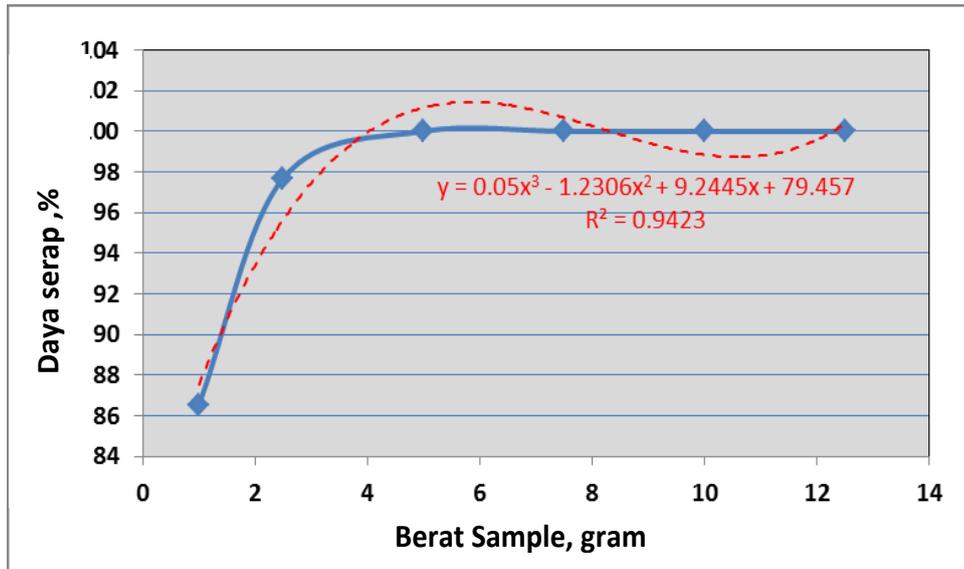
standar sebelum proses adsorbs dan (b) kandungan ion logam *hexavalent chromium* (Cr^{VI}) dalam larutan setelah proses adsorpsi oleh masing-masing karbon aktif. Hasil uji perbandingan daya serap antara contoh karbon aktif (1), hasil demineralisasi karbon aktif (2) dan hasil modifikasi karbon aktif menjadi SMAC (3) terhadap Cr^{VI} disajikan pada Gambar 11.



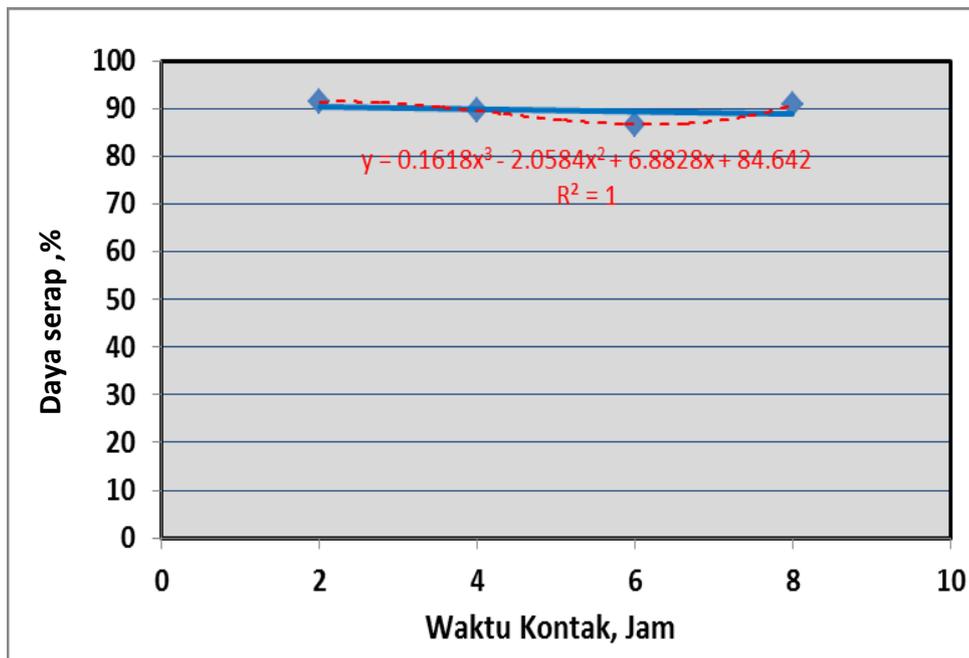
Gambar 10. Grafik larutan standar.



Gambar 11. Diagram daya serap karbon aktif (1) karbon aktif biasa (2) demineralisasi karbon aktif (3) modifikasi karbon aktif menjadi SMAC.



Gambar 12. Grafik korelasi daya serap vs berat conto SMAC.



Gambar 13. Grafik korelasi daya serap SMAC vs waktu kontak.

Pada gambar tersebut diperlihatkan telah terjadi peningkatan daya serap karbon aktif hasil modifikasi karbon aktif menjadi SMAC (3) sekitar 2 (dua) kali lipat bila dibandingkan dengan karbon aktif biasa (1). Sedangkan

korelasi antara daya serap versus berat sample seperti diperlihatkan pada grafik Gambar 12, menunjukkan bahwa kondisi optimal dicapai pada berat conto 5 gram dalam setiap liter larutan. Sementara lama waktu kontak optimal

dicapai sekitar 2 jam, penambahan waktu kontak tidak memberikan peningkatan daya serap yang cukup berarti dan/atau sedikit turun (Gambar 13). Pada kedua gambar tersebut memperlihatkan persamaan regresi dengan nilai $R^2 \leq 1$ menunjukkan bahwa tingkat validitas data cukup valid yang merupakan hasil rerata dari masing-masing percobaan yang dilakukan perulangan 3 kali.

KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa daya serap karbon aktif dari batubara (*tekMira*) terhadap ion logam *Hexavalent chromium* (Cr^{VI}) dapat ditingkatkan menjadi 2 (dua) kali lipat melalui modifikasi dengan *Cationic surfactant* (*Ethylenediamine, EDA*) yang selanjutnya disebut sebagai *SMAC* (*Surfactant Modified Activated Carbon*). Kondisi tersebut dicapai pada konsentrasi *SMAC* 5 gram per liter dapat menyerap *ionic pollutant* yakni ion logam *Hexavalent chromium* (Cr^{VI}) dalam larutan encer (*aqueous solution*) secara optimal terjadi pada kondisi pH 2 dan lama waktu kontak sekitar 2 jam. Penyebab terjadinya peningkatan penyerapan Cr^{VI} sebagai akibat lebih banyaknya *oxygen surface acidity* dan pengontrolan pH yang terjadi yang diberikan oleh *surface group* itu sendiri serta jenis dan spesiasi Cr^{VI} .

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI atas kesempatan yang diberikan kepada kami untuk melakukan penelitian ini. Tidak lupa ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Ir.Toton Sentana Kunrat (*tekMira*) atas bantuannya dalam penyiapan karbon aktif dari batubara sebagai bahan eksperimen. Akhir kata kami sampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak terutama rekan-rekan peneliti, teknisi dan administrasi atas bantuan dan dukungannya dalam pelaksanaan penelitian hingga penerbitan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Balbich, H., and Davis, H. A., 1981. Phenol: A review of environmental and health risk regulat. *Toxicol Pharmacol* 1, 90-190.
- Biolin Scientific, 2013. Critical-micelle-concentration. <http://www.attension.com/critical-micelle-concentration> (Diunduh pada 13 Desember 2012)
- Choi, H. D., Jung, W. S., Cho, J. M., Ryu, B. G., Yang, J. S., Baek, K., 2009. Adsorption of Cr^{+6} onto cationic Surfactant modified activated carbon. *Journal of Hazard Materials*, 166, 642-646.
- Effendi, H., 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Edisi I, Penerbit Kanisius (Anggota IKAPI), Yogyakarta.
- Ibarra, J. V., Muñoz, E., Moliner, R., 1996. FTIR Study of The Evolution of Coal Structure During the Coalification Process. *Org. Geochem.*, 24, 725-735.
- Hui, 1996. Surfactant. Diunduh dari: Wikipedia, the free encyclopedia and The Dow Chemical Company (1995-2010) pada bulan November 2011.
- Liu, S. X., Chen, X., Chen, X. Y., Liu, Z. F., Wang, H.L, 2007. Activated carbon with excellent chromium (VI) adsorption performance prepared by acid-base surface modification. *Journal of Hazard Materials*, 141, 315-319.
- Rios, R. R. V. A., Alves, D. E., Dalmázio, I., Bento, S. F. V., Donnici, C. L., Lago, R. M., 2003. Tailoring activated carbon by surface chemical modification with O, S, and N containing molecules. *Materials Research*, 6, 129-135.
- Xuguang, S., 2005. The investigation of chemical structure of coal macerals via transmitted-light FT-IR microspectroscopy. *Spectrochim Acta*, 62, 557-564.
- Zhenhua, L., Xijun, C., Xiaojun, Z., Xiangbing, Z., Rong, N., Zheng, H., Ruijuo, L., 2009. Chemically Modified Activated Carbon with Ethylenediamine for Selective Solid Phase Extraction and Preconcentration of Metal Ions. *Analytica Chimica Acta*, 632 (2), 272-277.

