

PERUBAHAN KARAKTERISTIK FISIK FLOK LUMPUR ALUM PADA PENGKONDISIAN GANDA DENGAN POLIMER

PHYSICAL CHARACTERISTIC ALTERATION OF ALUM FLOC IN DUAL CONDITIONING BY USING POLYMER

Bieby Voijant Tangahu¹⁾ Agus Slamet¹⁾ dan Ellina S. Pandebesie¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS

email: voijant@its.ac.id

Abstrak

Lumpur alum mempunyai sifat konsentrasi air tinggi, sangat tahan terhadap pelepasan air secara mekanis dan sulit untuk dibuang atau ditangani. Lumpur alum sulit dilepaskan airnya sehubungan dengan sifat-sifatnya, karena itu sering dikondisikan dengan polimer untuk mengubah karakteristik-nya sehingga menjadi lebih mudah melepaskan air. Penelitian ini bertujuan mengkaji kemampuan polimer amfoterik untuk mengubah karakteristik fisik floc dalam pengkondisian ganda lumpur alum. Pengkondisian ganda dengan polimer amfoterik, menghasilkan floc dengan ukuran yang jauh lebih besar daripada pengkondisian tunggal, dengan kekuatan floc dan *fractal dimension* yang tinggi.

Kata kunci : floc, karakteristik fisik, lumpur alum, pengkondisian ganda

Abstract

Several alum sludge properties are high water concentration, resistance to mechanical dewatering and hard to be disposed of or handled. Alum sludge is hard to be dewatered because of its physical characteristics, thus it is often conditioned by using polymer to alter its characteristics, so it is easier to be dewatered. This research was aimed to study amphoteric polymer capability to change physical characteristics of flocs in dual conditioning for alum sludge. Dual conditioning using amphoteric polymer, produced flocs with greater size than single conditioning, also high flocs strength and fractal dimension.

Keywords : alum sludge, dual conditioning, flocs, physical characteristic

1. PENDAHULUAN

Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum dengan koagulan alum, potensial berbahaya bagi lingkungan jika tidak diolah sebelum dibuang (George dkk., 1991 dan Atkor, 1994 dalam Kaggwa dkk., 2001). Karena itu lumpur perlu diturunkan kandungan airnya dan diolah terlebih dahulu sebelum dibuang (Kaggwa dkk., 2001). Telah diketahui bahwa lumpur alum sulit untuk melepaskan air sehingga perlu dikondisikan dengan polimer sebelum dilepaskan airnya (Zhao, dkk., 2002). Sejumlah penelitian menemukan bahwa kemampuan pelepasan air dapat ditingkatkan dengan flokulasi menggunakan polimer (Zhao, 2003). Polimer dapat menghasilkan flokulasi yang sangat baik dengan membentuk jembatan antara partikel-partikel sebagai hasil dari rantai cabang yang panjang. Flokulasi diperkuat dengan aksi koagulasi pada saat digunakan polimer kationik. Perubahan kemampuan pelepasan air dari lumpur ditentukan oleh pe-

rubahan karakteristik lumpur setelah dikondisikan dengan polimer. Pelepasan air dari lumpur dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti distribusi ukuran partikel, bentuk, luas daerah permukaan, densitas, muatan partikel, ikatan air, pH dan kandungan bahan organik. Karakteristik fisik lumpur alum meliputi ukuran floc, densitas, *fractal dimension* dan kekuatan floc.

Yu dan Somasundaran (1993) dalam Lai dkk. (2002) telah menunjukkan bahwa flokulasi dari alumina dapat ditingkatkan dengan dual flokulasi. Pengkondisian lumpur alum dengan dual polimer menggunakan polimer amfoterik membentuk floc yang lebih besar dan lebih kuat karena terjadi jembatan antar partikel yang lebih baik dan terbentuk floc yang superior.

Lumpur alum dapat dihasilkan dari berbagai sistem pengolahan air yang berbeda, dengan aluminium sulfat sebagai koagulan primer (Zhao, 2003). Peng-

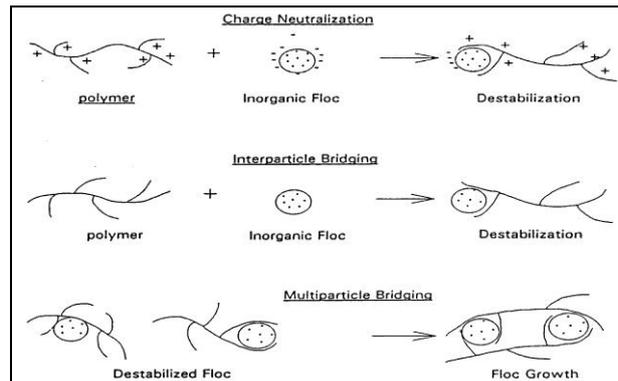
gunaan alum sebagai koagulan dalam proses pengolahan air minum adalah hal yang umum. Lumpur yang dihasilkan potensial berbahaya bagi lingkungan jika tidak diolah sebelum dibuang (George dkk., 1991 dan Atkor, 1994 dalam Kaggwa dkk., 2001). Lumpur tersebut didominasi dengan ion aluminium amorf. Ion ini berikatan sangat kuat dengan hidroksida, ion inorganik, fosfat dan senyawa organik di dalam air yang menghasilkan senyawa tidak larut. Lumpur mempunyai sifat konsentrasi air yang tinggi (konsentrasi padatan yang rendah), sangat tahan terhadap pelepasan air secara mekanis dan sulit untuk dibuang atau ditangani (Knocke dan Walkeland, 1983 dalam Kaggwa dkk., 2001).

Lumpur alum sulit dilepaskan airnya sehubungan dengan sifat-sifat lumpurnya. Sifat fisik lumpur meliputi: ukuran flok, kekuatan flok, densitas dan *fractal dimension*. Sedangkan sifat kimiawi dari lumpur adalah: pH dan alkalinitas. Lumpur alum sering dikondisikan dengan polimer sebelum dilepaskan airnya, dengan tujuan mengubah karakteristiknya sehingga menjadi lebih mudah melepaskan air (Zhao, dkk., 2002).

Pengkondisian kimiawi dapat menurunkan 90-99% kandungan air menjadi 65-85%, tergantung pada sifat padatan yang diolah. Pengkondisian kimiawi menghasilkan koagulasi dari padatan dan melepaskan air yang terabsorb. Penambahan bahan kimia pengkondisi untuk lumpur dan padatan biologis mungkin dapat meningkatkan padatan kering. Polimer tidak meningkatkan padatan kering seperti garam-garam besi dan kapur yang dapat meningkatkan padatan kering sampai 20-30%.

Pengkondisian tunggal merupakan langkah yang paling umum digunakan pada pengkondisian lumpur. Keuntungan-keuntungan dari pengkondisian tunggal adalah dosis yang rendah, dihasilkan lumpur dengan kuantitas yang rendah, pemisahan lumpur dan air yang lebih baik dan biaya yang rendah. Namun beberapa masalah yang dihadapi dalam pengkondisian tunggal antara lain adalah dipengaruhi oleh larutan kimiawi, sulit untuk mengendalikan dosis optimal dan mungkin akan terbentuk flok yang kurang ideal (Liu, 2004). Polielektrolit terutama berperan sebagai koagulan dalam menetralisasi muatan elektrik koloid secara langsung dan memungkinkan terjadinya agregasi, dan kedua berfungsi sebagai mekanisme penjemputan pada pembentukan flok (Shuster dan Wang, 1977 dalam Smollen dan Kafaar, 1997). Menurut Liu (2004),

mekanisme pengkondisian lumpur dengan menggunakan polimer terjadi sebagai akibat dari netralisasi muatan, dimana agregat terbentuk sebagai hasil dari minimisasi gaya tolak-menolak elektrostatis, selain itu juga pembentukan jembatan antar partikel, dimana terbentuk agregat melalui rantai dan ekor polimer yang menempel di permukaan partikel lumpur. Lebih jelasnya dapat dilihat ilustrasi yang tampak pada Gambar 1.



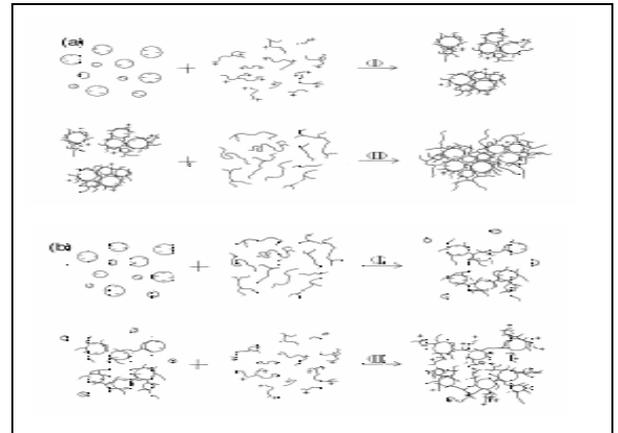
Gambar 1. Ilustrasi Mekanisme Pengkondisian Menggunakan Polimer (Liu, 2004)

Menurut Lee dan Liu (2000, 2001) aplikasi flokulan ganda dalam pengkondisian dan pelepasan air dari lumpur mengindikasikan kemampuan pelepasan air yang lebih baik, kemungkinan overdosis yang lebih kecil dan dapat menghasilkan flok yang lebih kuat. Peningkatan flokulasi dari alumina dengan flokulan ganda telah diteliti (Yu dan Somasundaran, 1993, dalam Lee dan Liu, 2001). Dosis, ukuran polimer dan densitas muatan mempengaruhi flokulasi. Tampak bahwa peningkatan flok (super flok) terbentuk melalui kompleksasi polimer-polimer (Yu dan Somasundaran, 1996; Fan dkk., 2000, dalam Lee dan Liu, 2001). Pada saat diaplikasikan dalam pengolahan lumpur, didapatkan bahwa lumpur yang diprekondisikan dengan garam besi atau surfaktan kationik menunjukkan kemampuan pelepasan air yang lebih baik (Chitkela dan Dentel, 1998 dalam Lee dan Liu, 2001). Telah diketahui bahwa adsorpsi dari polimer campuran pada permukaan partikel padatan lebih panjang dibandingkan dengan adsorpsi individual (Yu dan Somasundaran, 1996; Czempesz dkk., 1998 dalam Lee dan Liu, 2000). Dalam penelitian Lee dan Liu (2000) disebutkan bahwa lapisan adsorpsi pada pengkondisian ganda lebih tebal dan panjang, mempunyai ekor yang lebih panjang sehingga sangat berguna untuk meningkatkan flokulasi. Menurut Yu dan Somasundaran (1996), penyesuaian dari molekul polimer yang diadsorb pada *inter-*

face padatan-cairan dapat berubah secara drastis dengan penambahan suatu polimer kedua sebaik perubahan lain dalam pengkondisian larutan seperti pH. Kompleksasi polimer-polimer dalam larutan dan pada *interface* dapat mengarahkan pada koagulasi dari satu polimer yang tidak teradsorb. Penggunaan sistem polimer ganda dapat meningkatkan flokulasi dengan cepat pada dosis yang lebih rendah. Kesesuaian polimer berperan dominan dalam flokulasi, sebagai contoh, dalam penelitian Yu dan Somasundaran (1996), polimer anionik terbukti mempunyai jembatan antar partikel yang lebih baik ketika diadsorb pada partikel dengan preadsorb polimer bermuatan positif.

Senthilnathan dan Sigler (1993) dalam Lee dan Liu (2000) juga telah mengindikasikan bahwa pengkondisian ganda dengan polielektrolit kationik (satu dengan berat molekul tinggi dan yang lain dengan berat molekul rendah) adalah lebih efektif dibandingkan dengan pengkondisian dengan polielektrolit tunggal. Kelebihannya yaitu peningkatan kandungan padatan dari *cake* yang telah dilepaskan airnya dan peningkatan penangkapan padatan. Kemampuan pelepasan air yang lebih baik dari sedimen teramati pada saat pengkondisian dengan polielektrolit kationik dan anionik (Bohm dan Kulicke, 1997 dalam Lee dan Liu, 2000). Pada sistem ganda, dosis polielektrolit menurun dan kemampuan pelepasan air yang lebih baik. Kombinasi yang menggunakan koagulan logam dan polimer amfoterik memberikan laju pelepasan air dari lumpur yang lebih tinggi, kandungan sisa kelembaban yang lebih rendah dan flok yang kuat secara mekanikal (Watanabe dkk., 1999). Lumpur yang dikondisikan dengan polimer ganda pada konsentrasi yang sebanding menunjukkan kemampuan pelepasan air yang lebih baik, penangkapan partikel halus yang lebih efisien, dengan kemungkinan overdosis yang lebih rendah. Pada Gambar 2 Tampak pada bagian (a) flok primer yang lebih padat dibentuk pada saat prekondisi dengan polimer kationik, kemudian penambahan polimer non-ionik menunjang peningkatan flokulasi, hal tersebut memungkinkan terjadinya pembentukan agregat dari flok primer. Pada bagian (b) flok primer dibentuk pada saat prekondisi dengan polimer non-ionik, dapat diamati bahwa efisiensi penangkapan partikel-partikel halus adalah kurang baik namun ukuran flok primer yang terbentuk relatif lebih besar, kemudian penambahan polimer kationik akan menunjang peningkatan flokulasi, polimer kationik memben-

tuk kompleks dengan polimer non-ionik dan teradsorb pada flok primer (Lee dan Liu, 2000).



Gambar 2. Mekanisme Ilustrasi dari Pengkondisian Lumpur dengan Polimer Ganda (Lee dan Liu, 2001)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh polimer amfoterik dalam mengubah karakteristik fisik flok lumpur alum pada pengkondisian ganda.

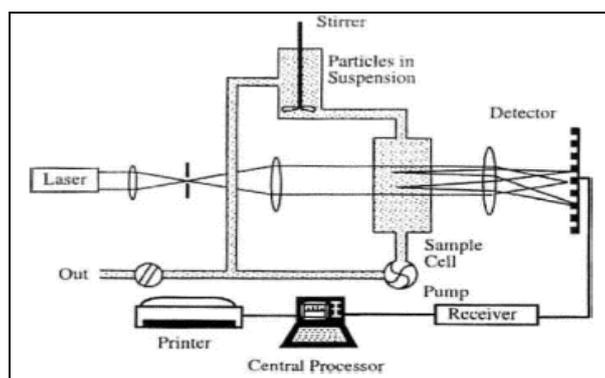
2. METODOLOGI

Pengambilan sampel dilakukan dari unit sedimentasi pada sistem pengolahan air minum. Sampel yang diambil berupa lumpur yang bercampur air, sampel tersebut dapat disimpan dan digunakan selama ± 2 minggu dalam suhu 4°C . Sebelum dikondisikan, sampel lumpur harus mencapai suhu kamar untuk menghindari pengaruh temperatur. Sampel lumpur yang telah disimpan pada suhu 4°C harus dibiarkan beberapa saat dalam suhu ruang lebih dahulu. Selain itu, sebelum pengkondisian, sampel lumpur harus diaduk menggunakan pengaduk mekanik selama ± 5 menit, untuk mendapatkan konsentrasi padatan yang merata pada tiap gelas beker.

Jenis-jenis polimer yang digunakan adalah polimer kationik KP-201 dan polimer amfoterik (AC 4060, AC 3505, AC 3054, AC 2556). Uji kandungan zat padat lumpur dengan metode standar mengacu pada *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 21st edition (APHA, 2000).

Ukuran dan kekuatan flok serta *fractal dimension* diukur menggunakan instrumen *small-angle light scattering* Masterziser 2000, Malvern, seperti tampak pada Gambar 3. Cairan secara konstan diaduk selama pengukuran untuk mencegah pengendapan.

Flok dipisahkan dalam air *nanopure* dan dilewatkan Malvern Mastersizer, yang menggunakan penghamburan cahaya statis. Instrumen terdiri dari suatu He-Ne laser sebagai sumber cahaya dan suatu lensa berhubungan dengan detektor peka cahaya. Cahaya yang menyebar dikumpulkan pada sudut antara $0,01^\circ$ dan $32,1^\circ$ mendeteksi intensitas yang menyebar I, distribusi ukuran diperoleh dengan menghitung data dari komputer. Pengukuran mencakup ukuran antara 0,02 dan 2000 μm . Dengan memplot intensitas cahaya yang menyebar I, dan vektor gelombang Q pada log-log, dapat diperoleh *fractal dimension* dengan mengambil slope negatif daerah *power-law* (Guan dkk., 1999 dalam Lai dkk., 2002). Instrumen ini juga dilengkapi dengan ultrasonik untuk menentukan kekuatan flok. Lumpur diultrasonik selama 5 menit untuk memecah flok, kemudian diukur kekuatan floknya (Wen dan Lee, 1999 dalam Wang dkk., 2002).



Gambar 3. Skema Alat untuk Ukuran dan Kekuatan Flok Serta *Fractal Dimension* dalam *Small-Angle Light Scattering* Masterziser 2000, Malvern

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengkondisian lumpur alum, dilakukan pemeriksaan karakteristik awal konsentrasi zat padat dalam sampel. Pemeriksaan ini diperlukan untuk menentukan dosis polimer dalam pengkondisian, karena dosis polimer dinyatakan dalam satuan kg/ton SS. Data konsentrasi zat padat dalam sampel lumpur dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Zat Padat Lumpur untuk Pengkondisian Tunggal dan Ganda

Parameter	Konsentrasi (g/L)
Zat padat total (TS)	60,75
Zat padat tersuspensi (TSS)	59,36
Zat padat terlarut (TDS)	1,39
Zat padat <i>fixed</i> (TFS)	55,46
Zat padat menguap (TVS)	5,29

Seperti halnya pada pengkondisian tunggal, karakteristik polimer yang digunakan akan sangat mempengaruhi proses pengkondisian yang dilakukan. Pada pengkondisian ganda, digunakan polimer amfoterik yang berbeda-beda berat molekul serta rasio kationik-anioniknya. Perbedaan karakteristik polimer yang digunakan ini dimaksudkan untuk mengkaji jenis polimer amfoterik yang paling sesuai untuk pengkondisian lumpur alum. Adapun karakteristik polimer yang digunakan dalam pengkondisian ganda adalah seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Polimer amfoterik yang digunakan mempunyai berat molekul bervariasi antara 5×10^6 – $1,2 \times 10^7$ g/mol dengan rasio kationik-anionik yang bervariasi pula, polimer AC 4060 dan AC 3505 lebih bersifat kation, sedangkan polimer AC 2556 dan AC 3054 lebih bersifat anion. Pada pengkondisian tunggal menggunakan polimer kationik KP-201C dan pengkondisian ganda menggunakan polimer amfoterik dengan polimer kationik KP-201C sebagai prekondisi, dua mekanisme yang berperan yaitu netralisasi muatan dan jembatan antar partikel. Diketahui muatan lumpur alum adalah sedikit negatif, karena itu digunakan polimer kationik sebagai agen pengkondisi. Dalam netralisasi muatan, polimer dengan muatan yang berlawanan diadsorb pada partikel, mereduksi muatan partikel dan mendestabilisasi suspensi.

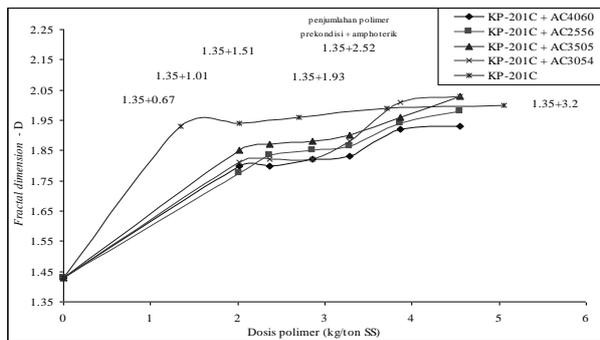
Tabel 2. Karakteristik Polimer yang Digunakan pada Pengkondisian Ganda

Polimer	Berat molekul (g/mol)	Densitas muatan (meq/g)	Rasio K/A	Sifat
AC 4060	$1,2 \times 10^7$	--	6/1	Amfoterik
AC 2556	$1,0 \times 10^7$	--	1/2	Amfoterik
AC 3505	$8,0 \times 10^6$	--	3/1	Amfoterik
AC 3054	$5,0 \times 10^6$	--	1/3	Amfoterik
KP-201C	$4,0 \times 10^6$	5,6	--	Kationik

Pada penelitian ini, ukuran flok, kekuatan flok dan *fractal dimension* meningkat dengan penambahan dosis polimer, hal ini berlaku untuk semua jenis polimer yang ditambahkan.

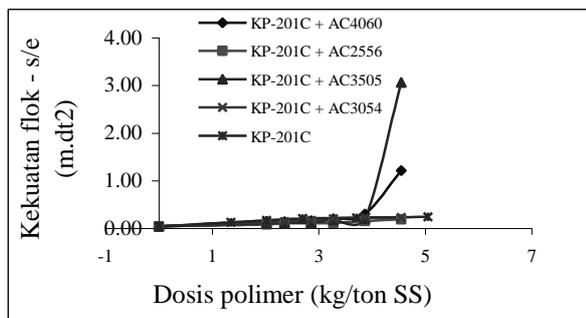
Pada Gambar 4 ditampilkan hasil pengukuran ukuran flok yang dihasilkan dari pengkondisian ganda, diketahui ukuran flok sampel lumpur sebelum dikondisikan adalah $16 \mu\text{m}$, sedangkan ukuran flok setelah lumpur pengkondisian tunggal meningkat menjadi 82 – $369 \mu\text{m}$ untuk dosis $1,35$ – $5,05$ kg/ton SS. Ukuran flok hasil pengkondisian ganda dengan polimer amfoterik AC 4060 adalah 161 – $597 \mu\text{m}$ untuk dosis $2,02$ – $4,55$ kg/ton SS.

Pada pengkondisian dengan polimer AC 2556, ukuran flok adalah 166–594 μm . Sedangkan flok hasil pengkondisian dengan polimer AC 3505 mempunyai rentang ukuran 96–604 μm dan untuk pengkondisian dengan polimer AC 3054, ukuran flok adalah 115–462 μm . Ukuran flok hasil pengkondisian tunggal pada dosis optimum 3,71 kg/ton SS adalah 343 μm .



Gambar 4. Ukuran Flok Pengkondisian Ganda

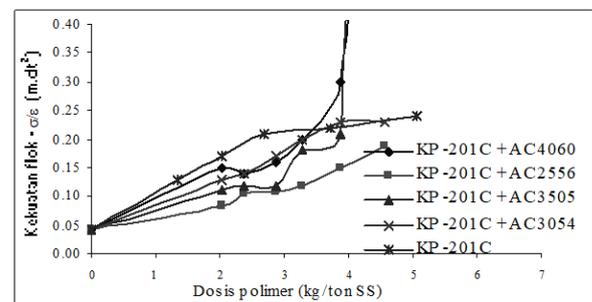
Hasil pengkondisian ganda dengan polimer amphoterik AC 4060 dan AC 3505 pada dosis optimum 2,86 kg/ton SS ukuran flok berturut-turut 274 μm dan 314 μm . Untuk pengkondisian dengan polimer AC 3054 pada dosis optimum 3,28 kg/ton SS ukuran flok sebesar 133 μm . Tampak bahwa pada dosis optimum, ukuran flok yang dihasilkan dari pengkondisian tunggal dengan polimer KP-201C dan pengkondisian ganda dengan polimer AC 4060 dan AC 3505 hampir sama yaitu $\pm 300 \mu\text{m}$. Selain itu, pada dosis 4,55 kg/ton SS, ukuran flok yang dihasilkan dari polimer AC 4060, AC 2556 dan AC 3505 adalah mendekati sama yaitu $\pm 600 \mu\text{m}$. Namun secara umum pengkondisian ganda dengan polimer amphoterik menghasilkan flok dengan ukuran yang lebih besar dari ukuran flok hasil pengkondisian tunggal pada dosis total polimer yang sama. Gambar 5 menampilkan hasil pengukuran kekuatan flok dari pengkondisian ganda.



Gambar 5. Kekuatan Flok Pengkondisian Ganda

Tampak bahwa kekuatan flok meningkat seiring meningkatnya dosis polimer, pada pengkondisian ganda dengan semua jenis polimer amphoterik yang digunakan. Pada pengkondisian dengan polimer AC 4060 kekuatan flok meningkat dengan sangat tinggi pada dosis total 4,55 kg/ton SS yaitu mencapai 1,21 $\text{m}\cdot\text{dt}^2$, hal yang sama terjadi pada pengkondisian dengan polimer AC 3505 di mana kekuatan flok dapat mencapai angka 3,04 $\text{m}\cdot\text{dt}^2$ pada dosis total 4,55 kg/ton SS. Pada pengkondisian dengan AC 2556 dan AC 3405, kekuatan flok sedikit meningkat yaitu 0,08-0,19 dan 0,13-0,23 $\text{m}\cdot\text{dt}^2$.

Polimer amphoterik AC 4060 dan AC 3505 mempunyai rasio kation-anion (K/A) yang besar sehingga lebih bersifat kationik. Meningkatnya kekuatan flok pada dosis tinggi disebabkan oleh adanya aksi koagulasi yang terjadi antara permukaan partikel padatan dari lumpur yang bermuatan negatif (sisa permukaan partikel padatan yang belum terlapsi oleh polimer kationik prekondisi) dan bagian kationik dari polimer amphoterik, disamping itu juga terjadi interaksi polimer-polimer antara polimer kationik prekondisi dengan bagian anionik dari polimer amphoterik tersebut. Kedua mekanisme pengkondisian yaitu netralisasi muatan dan pembentukan jembatan antar partikel yang berlangsung dengan baik, menghasilkan flok dengan ikatan yang sangat kuat sehingga dengan demikian flok menjadi lebih kuat dan tidak mudah pecah. Polimer amphoterik AC 2556, mempunyai sifat lebih anionik, sehingga mekanisme pengkondisian yang terjadi sebagian besar adalah pembentukan jembatan antar partikel tanpa adanya aksi koagulasi, akibatnya kekuatan ikatan flok tidak sekuat polimer AC 4060 dan AC 3505. Gambar 6 menunjukkan *fractal dimension* pada pengkondisian ganda



Gambar 6. *Fractal Dimension* pada Pengkondisian Ganda

Nilai *fractal dimension* pada semua jenis polimer juga menunjukkan peningkatan seiring dengan me-

tingkatnya ukuran flok dengan penambahan dosis polimer. Hal ini mengindikasikan peningkatan kepadatan struktur flok setelah dilakukan pengkondisian.

Pada pengkondisian tunggal, nilai *fractal dimension* adalah 1,93–2, di mana sebelum pengkondisian adalah sebesar 1,43. Pada pengkondisian ganda dengan AC 4060 adalah 1,8–1,93, AC 2556 adalah 1,78–1,98, AC 3505 adalah 1,85–2,03 dan AC 3054 adalah 1,81–2,03.

Hasil pengukuran karakteristik fisik flok yang meliputi ukuran flok, kekuatan flok dan *fractal dimension*, secara umum menunjukkan bahwa pengkondisian ganda dengan polimer amfoterik lebih baik dari pengkondisian tunggal. Karena pada pengkondisian ganda, telah terbentuk flok primer yang lebih padat pada saat prekondisi menggunakan polimer kationik. Kemudian polimer amfoterik teradsorb pada rantai dan ekor dari polimer kationik dengan ikatan hidrogen dan gaya van der Waals (Lee dan Liu, 2001), sehingga terjadi jembatan di antara flok-flok primer untuk membentuk kumpulan partikel (agregat).

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran karakteristik fisik flok yang meliputi ukuran flok, kekuatan flok dan *fractal dimension*, secara umum menunjukkan bahwa pengkondisian ganda dengan polimer amfoterik lebih baik dari pengkondisian tunggal, kecuali pada kombinasi antara KP-201C dan AC 2556. Pengkondisian ganda dengan polimer amfoterik menghasilkan flok dengan ukuran yang lebih besar dari ukuran flok hasil pengkondisian tunggal pada dosis total polimer yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA, AWWPCF, (2000) **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 21st edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington D.C.
- Kaggwa, R. C., Mulalelo, C.I., Denny, P dan Okurut, T. O. (2001). **The Impact of Alum Discharge on A Natural Tropical Wetland in Uganda**. *Water Research*. Vol. 35. (3). Hal. 795-801.
- Lai, J. Y., Wang, J. S. dan Liu, J. C. (2002). **Dual Conditioning of Sludge Utilizing an Amphoteric Polyelectrolyte**. Chemical Engineering Department. NTUST Taiwan.
- Lee, C. H. dan Liu, J. C. (2000). **Enhanced Sludge Dewatering by Dual Polyelectrolyte Conditioning**. *Water Research*. Vol. 34. (18). Hal. 4430-4436.
- Lee, C. H. dan Liu, J. C. (2001). **Sludge Dewaterability and Floc Structure in Dual Polymer Conditioning**, *Advance in Environmental Research*. (5). Hal. 139-136.
- Liu, J. C. (2004). **Conditioning and Dewatering of Sludge**. Paper Presentation.
- Smollen M. dan Kafaar, A. (1997). **Investigation into Alternative Sludge Conditioning Prior to Dewatering**. *Water Science Technology*. Vol. 36. (11). Hal. 115-119.
- Wang, J. S., Liu, J. C. dan Lee, D. J. (2002). **Dual Conditioning of Sludge Utilizing an Polyampholyte**. Chemical Engineering Department. NTUST Taiwan.
- Watanabe, Y., Kubo, K. dan Sato, S. (1999) **Application of Amphoteric Polyelectrolytes for Sludge Dewatering**. *Langmuir* Vol. 15. Hal. 4157-4164.
- Yu, X. dan Somasundaran, P. (1996). **Role of Polymer Conformation in Interparticle-Bridging Dominated Flocculation**. *Journal of Colloid and Interface Science* Vol. 177. Hal. 283-287.
- Zhao, Y.Q., Papavasiliopoulos, E. N., Bache, D. H. dan Mackinon, P. A., (2002). **Polymer Conditioning of Alum Sludge and Discrepancies between Estimates of The Optimum Dosage**. *Water Science and Technology*. Vol. 46. (1032). Hal. 115–121.
- Zhao, Y.Q. (2003). **Correlations between Floc Physical Properties and Optimum Polymer Dosage in Alum Sludge Conditioning and Dewatering**. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 32. Hal. 227–23

