

**PENGARUH DERAJAT NETRALISASI ASAM AKRILAT PADA SINTESIS POLIMER
SUPERABSORBEN DARI SELULOSA TUMBUHAN ALANG-ALANG
(*Imperata cylindrica*)**

**Effects of Neutralization Degree of Acrylic Acid on Synthesis of Superabsorbent
Polymer from Cellulose of Alang-alang (*Imperata Cylindrica*) Plant**

Sunardi^{1*}, Azidi Irwan¹, Wiwin Tyas Istikowati², Aminonatalina²

¹Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

²Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Fakultas Kehutanan,
Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

e-mail: sunardialbanyumasi@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh derajat netralisasi asam akrilat menggunakan NaOH terhadap karakteristik polimer superabsorben selulosa batang alang-alang tercampok asam akrilat yang meliputi analisis perubahan gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), kemampuan mengembang (*swelling*) dalam air, urea, NaCl serta kemampuan menahan (retensi) air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa polimer superabsorben yang dihasilkan dengan derajat netralisasi 85% memiliki karakteristik yang paling baik dengan nilai kemampuan mengembang (*swelling*) sebesar 755,07 g/g (water), 641,83 g/g (urea) dan 65,00 g/g (NaCl). Hasil uji retensi air menunjukkan bahwa kemampuan menahan air superabsorben tercampok selulosa alang-alang masih lebih kecil dibanding polimer asam akrilat murni. Hasil spektra FTIR menunjukkan pencangkakan dan pengikatsilangan terjadi pada karbon rangkap dua monomer asam akrilat.

Kata kunci: superabsorben, selulosa, derajat netralisasi, asam akrilat, *Imperata cylindrical*

Abstract

The objective of this research was to study the effects of neutralization degree of acrylic acid on *imperata cylindrica* cellulose-g-poly(acrylic acid) superabsorbent polymers based on *Fourier Transform Infra Red* spectra, swelling ratio in water, urea, sodium chloride solution and water retention. The result showed that the superabsorbent polymer had the highest swelling in 85% neutralization degree which yielded of swelling ratio 755.05 g/g (water), 641.83 g/g (urea) and 65.00 g/g (sodium chloride). However, the water retention of *imperata cylindrica* cellulose-g-poly(acrylic acid) superabsorbent polymers was smaller than superabsorbent polymer of acrylic acid. The result of FTIR spectra indicated that grafting and crosslinking were occurred in double bond carbon of acrylic acid monomer.

Key words: superabsorbent, cellulose, neutralization degree, acrylic acid, *imperata cylindrical*

PENDAHULUAN

Superabsorben adalah polimer berikatan silang tiga dimensi yang dibentuk oleh gugus hidrofilik dan gugus organik dari rantai karbon (Wang dan Liu, 2006), yang dapat mengabsorpsi sejumlah besar air, larutan garam, dan cairan dengan daya serap mulai 10 hingga 1000 kali dari bobot awalnya dan tidak melepas cairan tersebut (Pourjavadi *et al.*, 2007). Kebanyakan superabsorben berbahan dasar poli (*sodium acrylat & acrylamide*) yang mempunyai kelemahan antara lain kemampuan *swelling* terbatas dan harganya mahal (Wang & Liu, 2006) serta sukar terurai secara biologi (Kiatkamjornwong *et al.*, 2002). Untuk mengatasi masalah ini, beberapa penelitian terbaru memperkenalkan penggunaan pati (Zhang *et al.*, 2006), selulosa (Liu *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2010), lempung (Bulut *et al.*, 2009) dan kitosan (Zhou & Wu, 2011) sebagai bahan komposit superabsorben alamiah yang dapat meningkatkan sifat *swelling*, mudah didapat, mengurangi biaya produksi dan ramah lingkungan.

Perkembangan polimer superabsorben memanfaatkan bahan alami tersebut didapatkan dari sumber-sumber alam yang melimpah, mudah didapatkan dan pemanfaatannya yang masih kurang. Contohnya saja penelitian

oleh Liang *et al* (2008), Liu *et al* (2008), dan Ma *et al* (2010) dari China masing-masing menggunakan batang jerami yang dimanfaatkan sumber selulosanya (40%) untuk menghasilkan polimer superabsorben yang lebih baik. Di Indonesia khususnya Kalimantan Selatan, bahan alam yang mengandung selulosa banyak melimpah. Tanaman alang-alang (*Imperata cylindrica*) merupakan gulma pengganggu yang keberadaannya di Kalimantan Selatan mencapai 830.684 ha jauh melebihi luas sawah yang hanya 426.067 ha dan pertanian lahan kering semusim 60.680 ha (Pemprov Kalsel, 2010). Komposisi kimia alang-alang yang mengandung sekitar 40,22 % selulosa (Sutiya *et al.*, 2011), hampir sama dengan kandungan selulosa pada jerami, dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa yang murah untuk memproduksi polimer superabsorben melalui metode pencangkakan. Selain ketersediaan dari tumbuhan ini melimpah dan dapat diperbarui, penggunaan tumbuhan ini dapat mengurangi biaya produksi dan meningkatkan sifat polimer superabsorben untuk terdegradasi sehingga lebih ramah lingkungan.

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi polimer superabsorben adalah derajat netralisasi asam akrilat karena

akan menyebabkan lebih banyak gugus hidrofilik yang terangkai pada rantai komposit yang mendukung untuk pengembangan jaringan dan meningkatnya tekanan osmotik sehingga membantu penyerapan air (Kim & Han, 2008; Liu *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2010). Dalam beberapa penelitian diperoleh derajat netralisasi maksimum adalah 60 % dimana penyerapan maksimumnya dalam akuades dan larutan NaCl 0,9 % adalah 1268 g/g dan 93 g/g (Li *et al.*, 2005); 80%, dengan penyerapan maksimumnya dalam akuades dan larutan NaCl 0,9 % adalah 405 g/g dan 46 g/g (Liu *et al.*, 2008); 85 % dengan penyerapan maksimum dalam akuades dan NaCl 0,9 % adalah 133,76 g/g dan 33,83 g/g (Ma *et al.*, 2010); dan 57 g/g dalam akuades (Ni *et al.*, 2009).

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian tentang pengaruh derajat netralisasi asam akrilat oleh NaOH pada sintesis polimer superabsorben dari selulosa tumbuhan alang-alang terhadap kemampuan *swelling* dan kemampuan retensi pada polimer superabsorben yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain labu leher tinggi dengan kondensor, termometer, *hot plate stirrer*, neraca *Ohaus* model E12140, pengayak ukuran 60 mesh dan 170 mesh, oven merk *Thermologic* dan spektrofotometer inframerah. Bahan yang digunakan adalah batang tanaman alang-alang (*Imperata cylindrica*) dari daerah Banjarbaru, Kalimantan Selatan, asam akrilat (AA), ammonium persulfat (APS) dan N,N'-metilenbisakrilamida (MBA) dari E.Merck, NaOH, etanol 95% , urea, dan NaCl.

Preparasi sampel

Biomassa alang-alang (*Imperata cylindrica*) diambil bagian batang dan dipotong dengan ukuran ± 3 cm, dikeringkan kemudian dihancurkan dan diayak hingga lolos saringan 60 mesh. Serbuk kemudian direndam dalam 5 % larutan NaOH, dipanaskan pada temperatur $\pm 85^{\circ}\text{C}$ sambil diaduk selama 4 jam, kemudian suspensi ditambah larutan H_2O_2 konsentrasi 5%, lalu di oven selama 20 jam pada suhu $\pm 85^{\circ}\text{C}$. Suspensi disaring dan dinetralkan dengan akuades sampai pH 7 lalu dikeringkan pada

temperatur 80°C dan diayak hingga lolos 170 mesh.

Sintesis polimer superabsorben

Sintesis polimer poli (asam akrilat) tercangkok selulosa alang-alang dilakukan dengan memasukkan 1,2 g serbuk alang-alang hasil preparasi pada labu leher tiga ukuran 250 mL dan ditambahkan akuades 25 mL dan kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer*. Suspensi dipanaskan pada temperatur 95°C selama 30 menit dengan dialiri gas nitrogen. Sebanyak 80 mg ammonium persulfat sebagai inisiator ditambahkan pada saat temperatur suspensi telah turun pada temperatur 60-65°C. Setelah diaduk sebanyak 8 g asam akrilat dan 8 mg N,N'-metilen-bisakrilamida sebagai pengikat silang ditambahkan ke dalam suspensi. Kemudian dilakukan netralisasi asam akrilat menggunakan NaOH dengan variasi berat terhadap asam akrilat sebesar 0%, 40%, 60%, 75%, 85% dan 95%. Reaksi polimerisasi dilakukan pada temperatur 70°C dengan waktu reaksi 3 jam.

Uji swelling

Tiga buah cuplikan polimer superabsorben dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Kemudian polimer superabsorben

direndam pada temperatur kamar selama 24 jam. Superabsorben yang telah mengembang kemudian dipisahkan dari larutan menggunakan saringan. Kemampuan polimer superabsorben mengembang ditentukan dengan menimbang berat sampel mengembang (setelah proses adsorpsi) dan dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{\text{H}_2\text{O, urea, NaCl}} = (m_2 - m_1) / m_1$$

dimana m_1 dan m_2 adalah berat polimer kering dan berat polimer setelah adsorpsi. Nilai Q dihitung sebagai gram larutan air, urea, NaCl per gram sampel.

Uji retensi

Tiga buah cuplikan sampel maksimum dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga berat konstan dan ditimbang seberat 0,05 g (W_0). Polimer superabsorben kering direndam dalam 100 mL air selama 24 jam, lalu disaring dan ditimbang beratnya masing-masing 10 g, kemudian dioven pada suhu 70°C. Setiap jam dilakukan penimbangan terhadap sampel, penimbangan dilakukan sampai 6 jam.

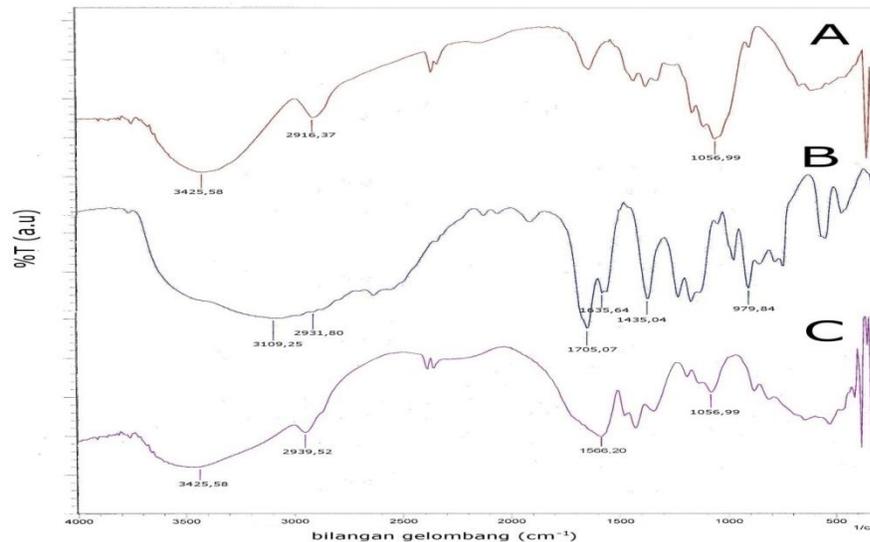
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis polimer superabsorben selulosa alang-alang-tercangkok asam akrilat

Sintesis polimer poli asam akrilat-alang-alang dilakukan dengan mengaliri gas nitrogen selama 30 menit yang bertujuan untuk menciptakan suasana reaksi tetap *inert* (tanpa adanya oksigen). Oksigen berlebih akan menghambat proses polimerisasi karena akan bereaksi dengan radikal bebas. Sehingga dalam reaksi yang peka terhadap oksigen, oksigen harus dihilangkan sebelum polimerisasi dilakukan (Cowd, 1991). Kemudian 80 mg ammonium persulfat sebagai inisiator ditambahkan pada saat temperatur suspensi telah turun pada temperatur 60-65°C karena pada suhu tersebut APS akan terpicu menjadi radikal bebas.

Penelitian ini difokuskan pada kajian pengaruh derajat netralisasi asam akrilat pada kemampuan polimer untuk *swelling*. Netralisasi perlu dilakukan karena monomer asam akrilat secara

spontan akan berpolimerisasi dan membentuk dimer asam akrilat (β -akriloksi asam propionat). Bentuk dimer asam akrilat ini mempunyai rintangan sterik yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk monomernya, sehingga sukar tercangkok pada rantai komposit. Bentuk dimer dapat di hidrolisa dengan NaOH untuk menghasilkan natrium akrilat dan β -hidroksi asam propionat (Zohuriaan-Mehr, 2008). Netralisasi asam akrilat akan meningkatkan kapasitas absorpsi dari superabsorben karena menyebabkan lebih banyak gugus hidrofilik yang tercangkok pada rantai komposit, hal ini mendukung untuk pengembangan jaringan dan meningkatnya tekanan osmotik sehingga membantu penyerapan air (Kim & Han, 2008; Liu *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2010).



Gambar 1. Spektra FTIR (A) selulosa hasil preparasi (B) monomer asam akrilat (C) polimer superabsorben netralisasi 85%.

Hasil analisis FTIR pada Gambar 1 menunjukkan bahwa telah terjadi pencangkakan pada selulosa oleh asam akrilat. Pada spektrum asam akrilat (B), tampak puncak serapan pada bilangan gelombang $3109,25 \text{ cm}^{-1}$ dicirikan sebagai vibrasi ulur O–H dari gugus akrilat. Bila dibandingkan dengan selulosa hasil preparasi dan polimer superabsorben, vibrasi O–H untuk asam akrilat terlihat melebar. Menurut Fessenden (1995) hal ini disebabkan asam akrilat (asam karboksilat) berada dalam bentuk dimer berikatan hidrogen bukan bentuk monomernya. Adanya ikatan hidrogen ini menyebabkan serapan ulur -OH dari asam karboksilat sangat lebar dan intensif hingga mendekati

daerah C–H alifatik ($2860\text{--}3300 \text{ cm}^{-1}$). Serapan puncak $1705,07 \text{ cm}^{-1}$ dicirikan sebagai gugus C=O dari akrilat. Panjang gelombang $1635,64 \text{ cm}^{-1}$ (vibrasi gugus C=C), $1435,04 \text{ cm}^{-1}$ (gugus $-\text{CH}_2$) dan $979,84 \text{ cm}^{-1}$ (vibrasi O–H dimer) merupakan karakteristik dari asam karboksilat. Hilangnya vibrasi O–H dimer pada spektra polimer superabsorben juga mengindikasikan bahwa dimer asam akrilat berhasil dihidrolisa oleh NaOH membentuk natrium akrilat.

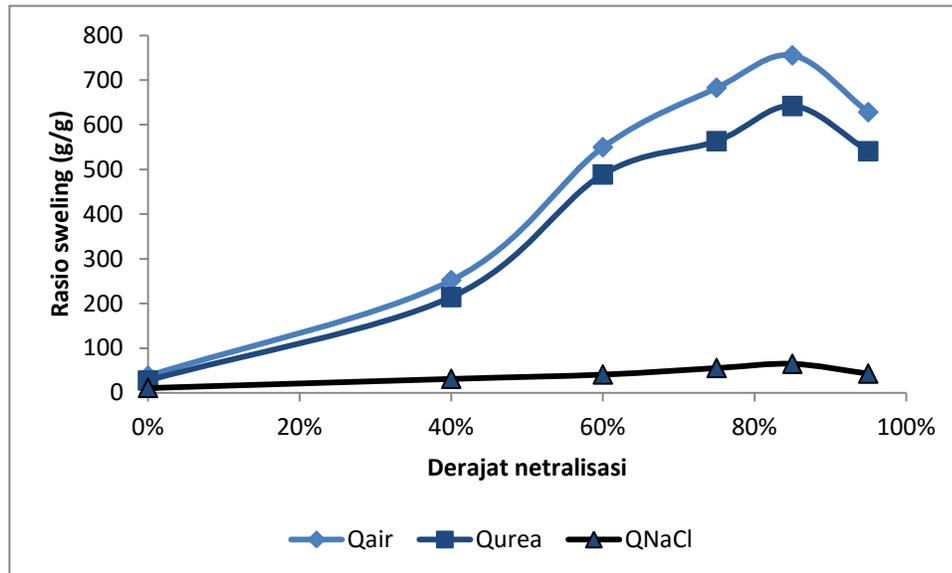
Spektrum polimer superabsorben hasil sintesis (C) pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi dari gugus hidroksil pada selulosa. Namun serapannya melebar dibandingkan selulosa preparasi, karena

terjadi tumpang tindih dengan serapan N-H sekunder dari MBA yang mempunyai serapan 3100–3500 cm^{-1} . Spektrum khas dari selulosa lainnya yang muncul adalah vibrasi gugus C-O (β -1,4-glikosida) pada bilangan gelombang 1056,99 cm^{-1} dan vibrasi gugus C-H pada bilangan gelombang 2939,52 cm^{-1} . Untuk spektrum tampak lainnya adalah pada bilangan gelombang 1566,20 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus COO^- (AA dalam polimer). Sedangkan pada bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} pada spektrum AA yang menunjukkan adanya vibrasi khas dari C=C tidak tampak pada spektrum polimer superabsorben hasil sintesis. Ini membuktikan bahwa proses pencangkakan dan pengikatsilangan untuk membentuk polimer superabsorben terjadi pada karbon rangkap dua monomer AA.

Pengujian kemampuan *swelling* polimer superabsorben dalam air, urea dan NaCl

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa kemampuan *swelling* dari polimer akan meningkat dengan bertambahnya derajat netralisasi berturut-turut dari 0%-85% yang disebabkan oleh banyaknya

natrium akrilat yang tercangkok pada rantai selulosa. Terjadinya *swelling* pada jaringan ini disebabkan oleh dua hal, pertama keberadaan ion-ion yang bergerak seperti Na^+ dalam struktur jaringan superabsorben. Ion-ion ini tidak dapat meninggalkan jaringan karena keseimbangan muatan dalam fase gel yang menyebabkan perbedaan tekanan osmotik antara fase gel dan larutan. Perbedaan tekanan ini menghasilkan daya dorong yang kuat bagi larutan untuk masuk ke dalam fase gel. Proses osmosis terus berlanjut hingga perbedaan tekanan osmotik menjadi nol (Pourjavadi *et al*, 2007). Penyebab kedua adalah keberadaan ion-ion COO^- dalam struktur jaringan yang saling tolak menolak sehingga jarak antar jaringan menjadi lebar/membesar yang memungkinkan untuk menyerap lebih banyak air dan *swelling*. Tetapi setelah netralisasi lebih dari 85 %, maka semakin banyak ion Na^+ yang terdapat dalam jaringan yang akan berinteraksi dengan gugus COO^- sehingga mengurangi gaya tolak menolak antar gugus COO^- . Akibatnya jarak antar jaringan tetap dan kemampuan *swelling* menurun.



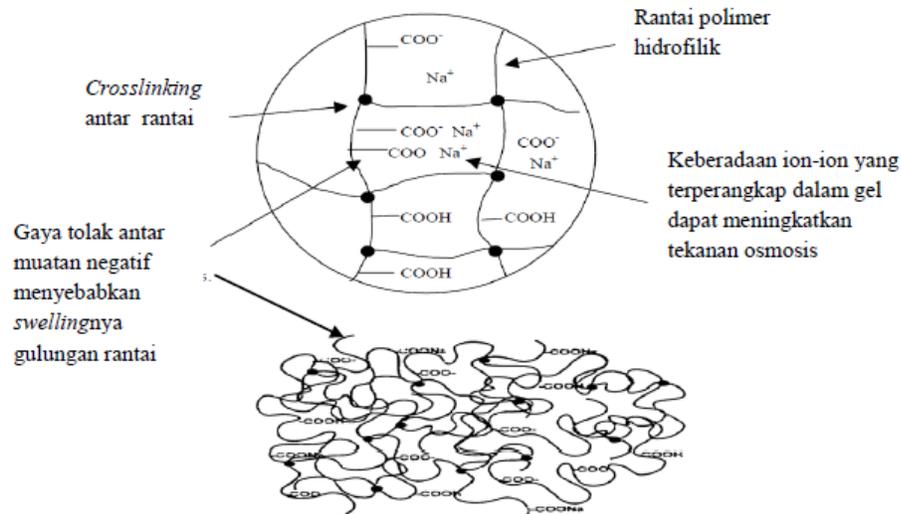
Gambar 2. Grafik perbandingan *swelling* superabsorben dalam larutan air, urea dan NaCl.

Terjadinya perbedaan tekanan osmotik yang besar antara fase gel dan larutan maka mengakibatkan osmosis air ke dalam fase gel menjadi lebih besar dibandingkan dalam larutan urea dan NaCl. Pada larutan urea terjadi fenomena yang berbeda, karena urea adalah molekul netral maka keberadaan molekul urea tidak mempengaruhi gaya tolak elektrostatis dari COO^- dalam rantai polimer. Selain itu, molekul urea mempunyai sisi hidrofilik seperti NH_2^- yang akan berinteraksi dengan larutan sehingga absorpsi polimer dalam larutan urea sedikit berkurang dibandingkan dalam air yaitu 641,83 g/g. Menurut (Zhai *et al.*, 2011) polimer dalam larutan

NaCl mengalami *swelling* yang kecil. Keberadaan ion-ion Na^+ dan Cl^- menyebabkan perbedaan tekanan osmotik di dalam fase gel dan di dalam larutan berkurang, akibatnya akan sedikit sekali larutan yang masuk ke dalam fase gel. Juga pengaruh interaksi antara ion Na^+ dengan muatan negatif (COO^-) dari rantai polimer (terprotonnya COO^-) dalam larutan NaCl yang menyebabkan berkurangnya muatan negatif dalam rantai polimer sehingga menghasilkan kepadatan jaringan pengikat silang yang menghambat pengembangan jaringan polimer akibatnya kemampuan *swelling* menurun. Terbukti dengan kecilnya

kemampuan *swelling* dari polimer ketika berada dalam larutan NaCl yaitu hanya 65,00 g/g. Ini sesuai dengan penelitian

sebelumnya yang menyatakan bahwa *swelling* dalam larutan NaCl adalah 45 g/g (Liu *et al.*, 2009)



Gambar 3. Gambaran skematik proses yang terjadi dalam polimer akrobat netralisasi (Elliott, 1997).

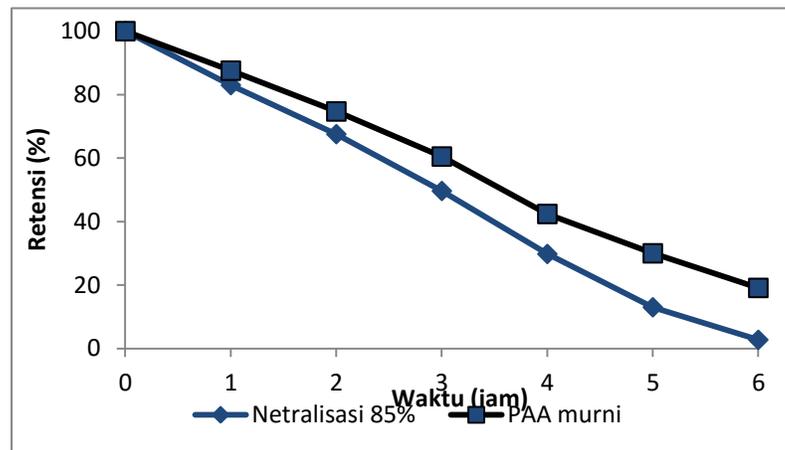
Uji retensi

Uji retensi dilakukan terhadap sampel superabsorben dengan selulosa (netralisasi maksimum 85%) dan sampel superabsorben poli asam akrilat / PAA (0% selulosa) selama 6 jam. Tujuan dilakukannya uji ini adalah untuk mengetahui kemampuan polimer superabsorben menahan air. Hal ini diperlukan terutama bila superabsorben diaplikasikan dalam bidang pertanian dan perkebunan.

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa kedua sampel superabsorben

menunjukkan retensi yang menurun dengan bertambahnya waktu. Selain itu, retensi yang dimiliki oleh superabsorben PAA (kontrol) lebih baik dibandingkan superabsorben dengan selulosa. Dalam uji retensi pada suhu 70°C , kehilangan air untuk superabsorben dengan selulosa mencapai 97,2% (retensi 2,8%) sedangkan superabsorben PAA mencapai 80,9% (retensi 19,1%). Hal ini tidak jauh berbeda dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kehilangan air dari komposit

superabsorben adalah 96,2% (retensi 3,8%) selama 5,5 jam (Li *et al.*, 2004).



Gambar 4. Grafik uji retensi polimer netralisasi 85% dan polimer PAA

Air yang terdapat dalam hidrogel dapat diklasifikasikan menjadi air terperangkap, semi-terperangkap dan air bebas. Dibandingkan air terperangkap dan semi-terperangkap, air bebas dalam hidrogel mempunyai pergerakan yang tinggi dan mudah hilang. Persentase air terperangkap dan semi-terperangkap

dalam hidrogel PAA lebih besar sedang persentase air bebas lebih kecil dibandingkan dengan hidrogel selulosa. Hal ini terjadi karena air yang ada dalam hidrogel berikatan hidrogen dengan gugus hidrofiliknya sehingga sukar terlepas dari hidrogel (Xu *et al.*, 2006).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa polimer superabsorben selulosa tercangkok asam akrilat dengan derajat netralisasi sebesar 85% memiliki kemampuan mengembang dalam air, urea dan NaCl paling tinggi yaitu sebesar 755,07 g/g, 641,83 g/g dan 65 g/g.

SANWACANA

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui **Hibah Insentif Sinas Ristek tahun 2013**.

DAFTAR PUSTAKA

- Bulut, Y., G. Akcaya, D. Elmaa, I. E. Serhatli. 2009. Synthesis of clay-based superabsorbent composite and its sorption capability. *Journal of Hazardous Materials* 171 : 717–723.
- Cowd, M.A., *Kimia Polimer*. Penerbit ITB, Bandung. 1991.
- Elliot, M., 1997. Superabsorbent Polymers. Product Development scientist for SAP. BASF.
- Fessenden & Fessenden. *Kimia Organik Edisi Ketiga (Jilid 2)*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 1995.
- Gupta, R., Y.Y. Lee, 2010. Investigation of biomass degradation mechanism in pretreatment of switchgrass by aqueous ammonia and sodium hydroxide. *Bioresource Technology* 101: 8185 – 8191.
- Kiatkamjornwong, Suda, K. Mongkolsawat, M. Sonsuk. 2002. Synthesis and property characterization of cassava starch grafted poly[acrylamide-co-(maleic acid)] superabsorbent via γ -irradiation. *Polymer* 43 : 3915-3924.
- Kim, JK., YK., Han, 2008. Preparation of a crosslinked poly(acrylic acid) based new dehydrating agent by using the Taguchi method. *Macromolecul Research* 16(8): 734 – 740.
- Liang, R., H. Yuan, G. Xi, Q. Zhou. 2008. Synthesis of wheat straw-g-poly(acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it. *Carbohydrate Polymer* 77:181-187.
- Li, A., A. Wang, J. Chen, 2004. Studies on poly(acrylic acid) / attapulgite superabsorbent composite. *Polymer Science* 92 : 1596-1603.
- Li, A., J. Zhang, A. Wang. 2005. Synthesis, characterization and water absorbency properties of poly(acrylic acid) / sodium humate superabsorbent composite. *Carbohydrate Polymers* 77: 131-135.
- Liu, Z., Y. Miao, Z. Wang, G. Yin. 2009. Synthesis and Characterization of a Novel Superabsorbent based on Chemically Modified Pulverized Wheat Straw and Acrylic Acid. *Carbohydrate Polymers* 77 : 131-135.
- Ma, Z., Q. Li, Q. Yue, B. Gao, X. Xu, Q. Zhong. 2010. Synthesis and characterization of a novel superabsorbent based on wheat straw. *Bioresource Technology* 102 : 2853-2858.
- Ni, B., M., Liu, S., Lu, 2009. Multifunctional slow release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formula. *Chemical Engineering Journal*, 155 : 892-898.
- Pemprov Kalsel, 2010. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Kalimantan Selatan Tahun 2011-2015*. Banjarmasin.
- Pourjavadi, A., M.S. Amini-Fazl, M. Ayyari, 2007. Optimization of synthetic conditions CMC-g-poly(acrylic acid)/celite composite superabsorbent by Taguchi method and determination of its absorbency under load. *eXPRESS Polymer Letters* 1(8): 488-494.
- Sutiya, B., WT. Istikowati, A. Rahmadi, 2011. Pembuatan pulp dari alang-alang (*Imperata cylindrical*) dengan proses soda. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Unlam.
- Wang, Z., Liu, Z., 2006. The optimization of synthesizing graft copolymer of starch with monomers, J. Wuhan Univ. *Technol-Mater.* 21(2), 83-87.
- Xu, S., R. Wu, X. Huang, L. Cao, J. Wang, 2006. Effect of the anionic-group /cationic-group ratio on the swelling behavior and controlled release of agrochemicals of the amphoteric superabsorbent polymer poly (acrylic acid-co-diallyl dimethyl ammonium chloride). *Polymer Science* 102 : 986 – 991.
- Zhai, N., W. Wang, A. Wang, 2011. Synthesis and swelling characteristics of a pH responsive guar gum-g-poly(sodium acrylate) /

- medicinal stone superabsorbent composite. *Polymer Composite* 32 (2): 210-218.
- Zhang, J., A. Li, A. Wang. 2006. Study on superabsorbent composite. Preparation, characterization and *swelling* behaviors of starch phosphate-gaft-acrylamide/attapulgite superabsorbent composite. *Carbohydrate Polymers* 65 : 150–158.
- Zhou,C, Q. Wu. 2011. A novel polyacrylamide nanocomposite hydrogel reinforced with natural chitosan nanofibers. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 84 : 155–162.
- Zohuriaan-Mehr, MJ., K. Kabiri, 2008. Superabsorbent polymer materials. *Iranian Polymer Journal* 17 (6) : 451-477