



Sintesis Kopolimer Gel Berbasis NIPAM (*N-isopropylacrylamide*), Kitosan dan Asam Akrilat Sebagai Adsorben Limbah Elektroplating

Eva Oktavia Ningrum^{*}, Gloria Eudia Gogani, Luthfiya Ayu Wardani, Muhniatul Maghfiroh, dan Naufal Mahdi

Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

^{*}E-mail: eva-oktavia@chem-eng.its.ac.id.

Abstract

Indonesia is one of the worst countries in Asia in terms of wastewater treatment which results in environmental pollution. One of the factors is the electroplating industry that produces heavy metal waste. One of the heavy metal wastes from electroplating is chromium metal that become a threat to humans and the environment because it can cause acute poisoning, accumulated in the human body and damage the ecosystem. One of the methods used to regenerate heavy metal waste is by employing zwitterionic betaine gel. However, this method has its disadvantages with the presence of intra-intrachain associations that inhibit the ionic group's ability to adsorb ions by the charge group interaction.

This study aimed to improve the gel adsorption ability by reducing the association of intra-intrachain copolymers through separately synthesis the anionic gel (NIPAM-co-acrylic acid) and cationic gel (NIPAM-co-chitosan). NIPAM-co-chitosan and NIPAM-co-acrylic acid gels were synthesized through polymerization reactions using *N,N,N',N'*-tetramethylethylenediamine (TEMED) as accelerators and *N,N'*-methylenebisacrylamide (MBAA) as a crosslinker. Initially TEMED, MBAA, NIPAM and chitosan or acrylic acid were mixed in distilled water with a total volume of 100 ml. The solution was stirred for 10 minutes, purged with N₂ gas with a flowrate of 500 ml/min in four neck flask at 10 °C. Ammonium peroxodisulfate (APS) was then added into solution. The polymerization reaction occurred for 6 hours. In this study the adsorption/desorption of metal ions by pH-thermosensitive gel are investigated in various pH, and weight balance between NIPAM-co-anionic and NIPAM-co-cationic gel. The effects of the temperature and the conditions employed in the preparation of the gel, i.e., monomer concentration on the extent of adsorption of metal ions on the gel were also elucidated. The adsorption and desorption behavior of the gel is discussed by considering the swelling degree of the gel as well as the transition temperature of poly(NIPAM-co-chitosan) and poly(NIPAM-co-acrylic acid).

Based on the results of FTIR analysis, the vinyl groups peak of the copolymer gel decreased compared with that of its constituent monomers. It can be concluded that the synthesis of copolymers was successful. While based on the swelling degree test using an electroplating waste solution, the higher the temperature of the solution, the lower the swelling degree of the gel. Moreover, gel porous occurred because of the higher synthesis temperature.

Keywords: gel, adsorption, NIPAM, chitosan, acrylic acid

Pendahuluan

Pesatnya perkembangan teknologi didalam perindustrian mengakibatkan jumlah permintaan produk yang memerlukan proses elektroplating semakin berkembang, sehingga mendesak industri elektroplating untuk mengeluarkan produk-produk sesuai dengan permintaan konsumen. Hal tersebut mengakibatkan jumlah permintaan produk yang memerlukan proses elektroplating semakin meningkat juga. Meningkatnya industri elektroplating juga meningkatkan limbah logam berat. Keberadaan logam-logam berat khususnya dalam limbah berupa cairan merupakan masalah yang harus mendapat perhatian yang serius karena menghasilkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dapat merusak ekosistem perairan maupun kehidupan manusia sekitarnya (Rubio dkk., 2002).

Palar (1994) mengatakan bahwa Cr merupakan salah satu limbah B3 yang memiliki daya racun yang tinggi. Daya racun logam Cr ditentukan oleh elektron valensinya dan ion Cr⁶⁺ paling banyak dipelajari sifat racunnya, dibandingkan dengan ion Cr³⁺ dan Cr²⁺. Daya racun ini mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. Baru-baru ini, banyak pendekatan yang telah dipelajari untuk pengembangan teknologi yang lebih murah dan efektif untuk mengurangi jumlah air limbah yang diproduksi dan meningkatkan kualitas efluen yang diolah. Adsorpsi menjadi salah satu perawatan alternatif dalam beberapa tahun terakhir yang memiliki kapasitas pengikatan



logam yang telah diintensifkan (Leung dkk., 2000; Barakat 2010). Adsorpsi adalah proses pemisahan ekuilibrium yang diakui sebagai metode yang efektif, efisien dan ekonomis untuk aplikasi dekontaminasi air dan analitik pemisahan.

Kajian tentang penurunan logam berat oleh *sulfobetaine zwitterionic* polimer dan gel telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Pada umumnya *Zwitterionic betaine* polimer memiliki sifat yang *thermosensitive* dalam larutan *aqueous*, dan dibawah suhu *Upper Critical Solution Temperature* (UCST) *Zwitterionic betaine* polimer tidak dapat larut di dalam air, namun akan larut pada suhu diatas UCST. *Zwitterionic* polimer akan mengalami *collapse coil* yang dikarenakan adanya interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain* saat pada suhu dibawah UCST. Namun, pada suhu diatas UCST interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain* akan terhambat karena adanya energi thermal (Salamone dkk., 1978). Konsentrasi polimer dan UCST berbanding lurus yakni semakin tinggi konsentrasi polimer maka UCST *zwitterionic* polimer akan semakin naik. Kenaikan energi thermal sangat diperlukan untuk mengatasi adanya peningkatan interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain* (Takahashi dkk., 2011).

Poly(N-isopropylacrylamide) atau poly(NIPAM) adalah salah satu contoh *thermosensitive* polimer dengan suhu *Low Critical Solution Temperature* (LCST) sekitar 32 °C (Hirokawa dkk., 1984). NIPAM memiliki muatan netral sehingga dapat bertransisi dari sifat hidrofilik ke hidrofobik dan pada suhu rendah akan mengalami *swelling* dan pada suhu tinggi akan mengalami *shrinking* (Li dkk., 1989). Sebagian besar penelitian mengenai *sulfobetaine zwitterionic* hanya menekankan pada sintesis dan properti dari larutan polimer dan gel, contohnya properti *thermosensitive* gel (Dimitrov dkk., 2007) dan *swelling degree* (Crowther dkk., 1998).

Pada penelitian Bagus dan Chynintya (2018) mengenai sintesis dan karakterisasi properti kopolimer NIPAM-co-DMAAPS. Pada penelitian ini menggunakan variasi perbandingan konsentrasi monomer NIPAM:DMAAPS yaitu 9:1, 8:2 dan 7:3 dengan menggunakan larutan $Zn(NO_3)_2$. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pada rasio konsentrasi monomer 9:1, sifat fasa transisi *thermosensitive* LCST kopolimer dalam larutan $Zn(NO_3)_2$ sebesar 56 °C. Sedangkan pada rasio monomer 8:2 dan 7:3 tidak terdeteksi. Pada kopolimer NIPAM-co-DMAAPS, ion yang dibawa pada kopolimer adalah ion yang netral sehingga penyerapan ion positif dan ion negatif pada larutan limbah yang dihasilkan dari proses produksi elektroplating dapat terserap dengan baik dari berbagai sisi ion yang terkandung di dalam limbah tersebut. Polimer NIPAM-co-DMAAPS memiliki asosiasi *intra-intrachain* sehingga *ionic group* dapat digunakan untuk mengadsorpsi ion tetapi kemampuan adsorpsinya terhambat oleh interaksi *charge group* tersebut. Untuk menghindari adanya asosiasi *intra-intrachain*, gel disintesis secara terpisah dengan menggunakan kopolimer NIPAM-co-kitosan dan NIPAM-co-asam akrilat karena NIPAM-co-kitosan cenderung mengandung ion yang bermuatan positif sedangkan NIPAM-co-asam akrilat membawa ion yang bermuatan negatif. Saat gel tersebut digunakan untuk adsorpsi sebuah limbah elektroplating, muncul kompetisi antara masing masing ion dari polimer dan ion dalam larutan limbah.

Penelitian kopolimerisasi NIPAM dengan *organic* material kitosan dan asam akrilat belum banyak dikembangkan sebelumnya. NIPAM gel memiliki keunikan yaitu sifat hidrofilik pada suhu rendah dan hidrofobik pada suhu tinggi di dalam air, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agen pendesorpsi ion dengan perubahan suhu. Dalam studi ini, kami mengembangkan adsorben gel untuk mengadsorpsi dan meregenerasi limbah logam berat berbasis bahan alami polimer NIPAM-co-kitosan dan NIPAM-co-asam akrilat. Logam berat akan teradsorpsi secara *reversible*. Perbandingan konsentrasi monomer kopolimer gel ini bertujuan untuk meningkatkan selektivitas dan kualitas adsorpsi ion logam berat dari limbah elektroplating. *Hydrogel* ini dapat menghilangkan ion logam dalam bentuk hidroksida, anion, seperti asam arsenik, nitrat dan sulfat dengan adsorpsi pada gugus amino terprotonasi. Selain efisien dan murah, adsorben ini juga dapat menghilangkan limbah sekunder yang dihasilkan dari metode sebelumnya.

Oleh karena itu kami mengembangkan *reversible* dan porous adsorben gel untuk mengadsorpsi dan meregenerasi limbah logam berat berbasis bahan alami dan *thermosensitive* polimer NIPAM-co-kitosan dan NIPAM-co-asam akrilat. Logam berat akan teradsorpsi secara *reversible* dengan perubahan suhu serta pH. Adsorben ini juga dapat menghilangkan limbah sekunder sehingga lebih efisien dan murah,

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan adalah monomer *N-isopropylacrylamide* (NIPAM), kitosan, asam akrilat, akselerator *N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine* (TEMED), *Sodium sulphite* (Na_2SO_3), inisiator *Ammonium peroxodisulfate* (APS), *crosslinker N,N'-methylenebisacrylamide* (MBAA), *Benzene* dan *N-hexane* untuk proses purifikasi NIPAM, *distillate water*, gas nitrogen, dan larutan limbah elektroplating. Sedangkan alat yang digunakan adalah reaktor polimerisasi, *magnetic stirrer*, *water bath*, tabung Nitrogen, Nitrogen *inlet*, *gas outlet*, *stirrer*, *temperature controller*, *inlet* inisiator, *heating mantle*, labu destilasi, kondensor *liebig*, *erlenmeyer*, *thermometer*, statif dan klem holder.

Sintesis *N-isopropylacrylamide* (NIPAM; KJ Chemicals Co., Ltd., Japan) sebagai monomer primer untuk kopolimer gel dimurnikan menggunakan metode rekristalisasi gel dengan *N-hexane*. Sedangkan sintesis asam akrilat untuk kopolimer gel dimurnikan menggunakan metode destilasi. Adapun proses pembuatan kopolimer gel NIPAM-co-kitosan yaitu *N-isopropylacrylamide* (NIPAM), kitosan, *N,N'-methylenebisacrylamide* (MBAA), dan *N,N,N',N'-*

tetramethylethylenediamine (TEMED) dilarutkan ke dalam *distilled water* hingga volume larutan mencapai 100 mL. Kemudian larutan monomer tersebut dituangkan ke dalam *separable flask* berleher empat yang diatur suhunya dengan *temperature controller* agar konsisten pada variabel suhu 10°C dan 50°C. Larutan di-*purging* dengan menggunakan *ultra high purity nitrogen gas* untuk menghilangkan oksigen yang terkandung di dalamnya selama 10 menit. Lalu ditambahkan *ammonium peroxodisulfate* (APS) yang sudah dilarutkan ke dalam *distilled water* dengan volume total 20 mL ke dalam labu inisiator untuk di-*purging* dengan gas nitrogen selama 30 menit. Kemudian larutan *ammonium peroxodisulfate* (APS) yang sudah di-*purging* dicampurkan ke dalam larutan monomer dengan keadaan tetap di-*purging* dengan gas nitrogen. Setelah larutan tercampur secara homogen, masukkan cetakan silinder dan tunggu selama 6 jam. Reaksi polimerisasi berlangsung pada variabel suhu 10°C dan 50°C. Pembuatan kopolimer NIPAM-*co*-asam akrilat sama dengan pembuatan kopolimer NIPAM-*co*-kitosan secara teknis hanya berbeda pada penggunaan akselerator yang menggunakan *Sodium sulphite* (Na₂SO₃) dan inisiator menggunakan *Ammonium persulfate* (APS). Kondisi sintesis kopolimer gel dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Kondisi Sintesis Kopolimer Gel NIPAM-*co*-kitosan

	Komponen	Konsentrasi (mmol/L)
Monomer	NIPAM	800 600
	Kitosan	200 400
Linker	MBAA	30
Akselerator	TEMED	10
Inisiator	APS	2

Tabel 2. Kondisi Sintesis Kopolimer Gel NIPAM-*co*-asam akrilat

	Komponen	Konsentrasi (mmol/L)
Monomer	NIPAM	800 600
	Asam akrilat	200 400
Linker	MBAA	30
Akselerator	Na ₂ SO ₃	10
Inisiator	APS	2

Reaksi pembentukan gel berlangsung kurang lebih selama 30 detik dan setelah reaksi polimerisasi selesai gel yang terbentuk di dalam cetakan silinder dipotong. Kopolimer NIPAM-*co*-kitosan dan NIPAM-*co*-asam akrilat gel kemudian dicuci dengan *distilled water* dan dikeringkan selama beberapa hari pada kertas teflon yang dihamperkan pada *petridish*. *Petridish* ditutupi dengan *plastic film* yang telah diberi lubang-lubang kecil untuk mengurangi penguapan. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya keretakan pada gel dengan menurunkan laju pengeringannya. Selanjutnya dilakukan uji *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam senyawa yang ada pada gel. Selain itu dilakukan uji *swelling degree* untuk mengukur kemampuan gel saat mengembang (*swelling*) di dalam limbah elektroplating yang akan dihitung menggunakan persamaan:

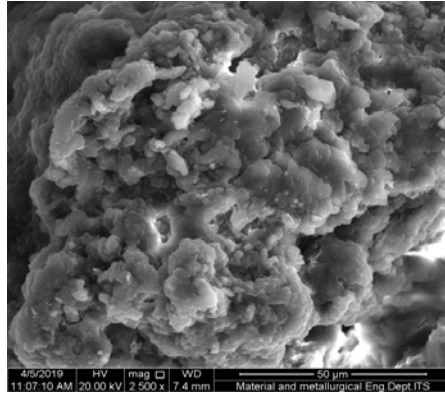
$$\text{Swelling Degree} = \frac{d_{\text{swell}}^3}{d_{\text{dry}}^3} \quad (1)$$

Dimana d_{swell} menunjukkan diameter gel yang telah mencapai *equilibrium swelling* pada suhu tertentu (*diameter of swollen gel*) sedangkan d_{dry} menunjukkan diameter gel kering (*dry gel*).

Hasil dan Pembahasan

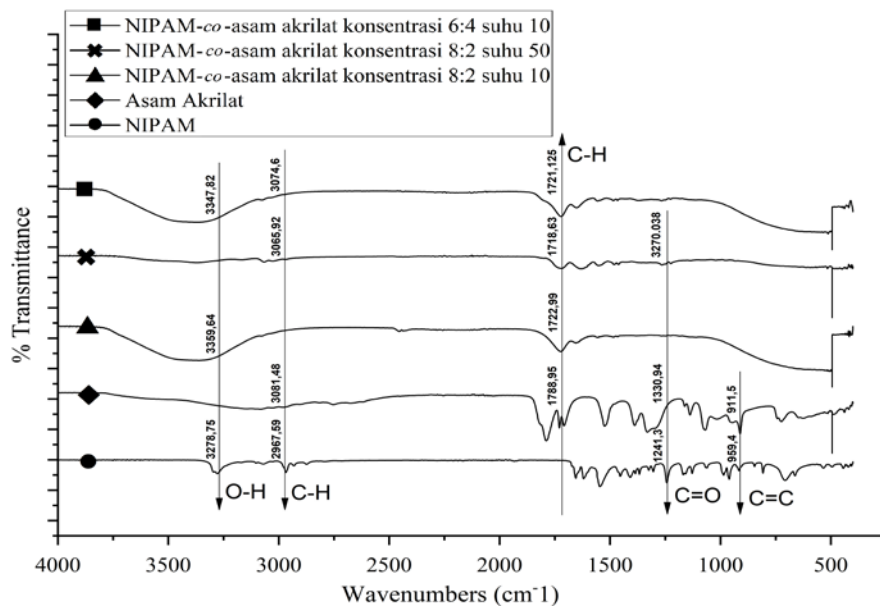
Analisis Scanning Electron Microscopy

Pada Gambar 1 menunjukkan gambar SEM dari NIPAM-*co*-kitosan konsentrasi NIPAM : kitosan 8:2 dengan suhu sintesis 50°C. Pada gambar tersebut merupakan gambar SEM dengan perbesaran 500 x. Dapat dilihat bahwa pada sintesis suhu 50°C terlihat adanya porositas dan agregat. Terbentuknya porositas terjadi akibat beberapa hal seperti meningkatnya polimerisasi karena penurunan kelarutan antara NIPAM dengan kitosan, seperti yang telah diketahui bahwa NIPAM merupakan LCST pada 32°C sedangkan kitosan larut pada larutan asam organik. Jadi saat suhu sintesis semakin menjauhi LCST maka semakin banyak terbentuknya porous.

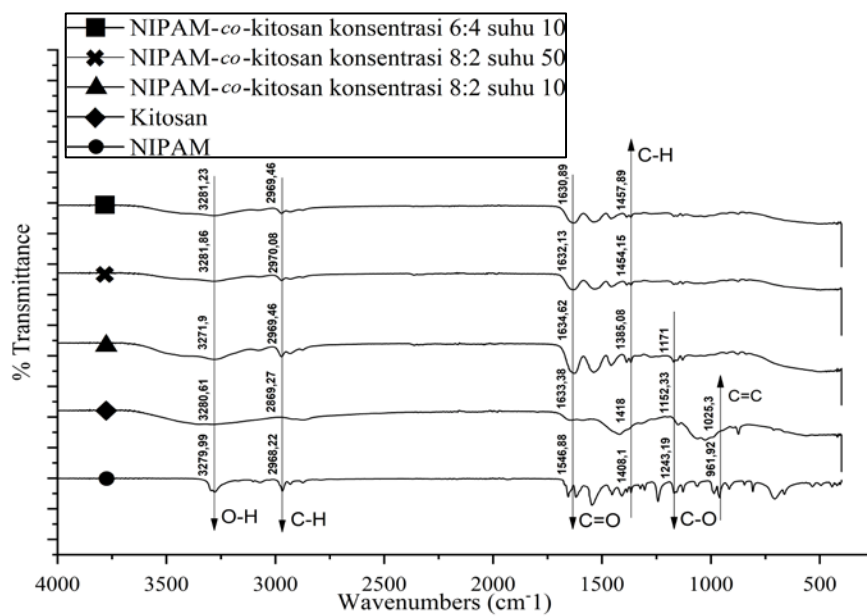


Gambar 1. Uji SEM pada NIPAM-co-kitosan konsentrasi 8:2 suhu 50 °C

Analisis Fourier Transform Infra Red



Gambar 1. Hasil dari FTIR NIPAM-co-asam akrilat

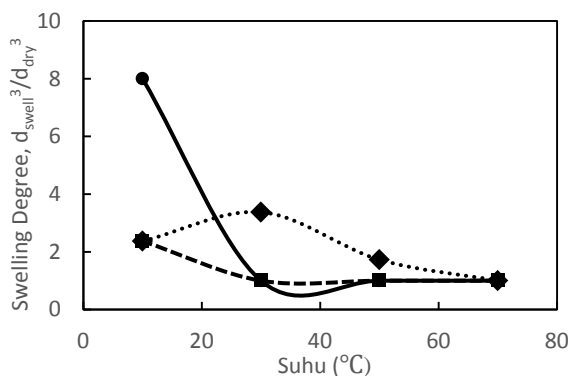


Gambar 2. Hasil dari FTIR NIPAM-co-kitosan

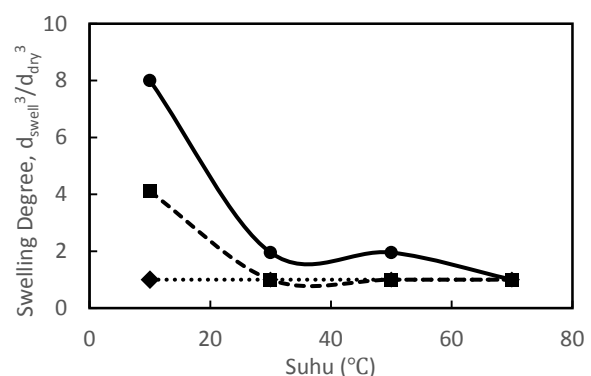
Untuk analisis FTIR, NIPAM-co-asam akrilat, digunakan *range* panjang gelombang 4000 cm^{-1} hingga 500 cm^{-1} , karena reaksi yang terjadi pada sintesis NIPAM-Co-Akrilat adalah reaksi polimerisasi. Pada gambar 1 (\blacktriangle) ikatan O-H ditunjukkan pada panjang gelombang 3359,64 cm^{-1} . Ikatan C-H ditunjukkan pada panjang gelombang 1722,99 cm^{-1} . Pada gambar 1 (\blackstar), ikatan C-H ditunjukkan pada panjang gelombang 3065,92 cm^{-1} dan 1718,63 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 3270,038 cm^{-1} , terdapat ikatan C=O. Pada gambar 1 (\blacksquare) terdapat ikatan O-H pada panjang gelombang 3347,82 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 3074,6 cm^{-1} dan 1721,125 cm^{-1} terdapat ikatan C-H.

Sedangkan untuk analisis FTIR NIPAM-co-kitosan pada gambar 2 (\blacktriangle) menunjukkan ikatan O-H pada panjang gelombang 3271,9 cm^{-1} . Ikatan C-H pada panjang gelombang 2969,46 cm^{-1} dan 1385,08 cm^{-1} . Kemudian ikatan C-O pada panjang gelombang 1171 cm^{-1} . Selanjutnya adanya ikatan C=O ditunjukkan dengan panjang gelombang 1634,62 cm^{-1} . Pada gambar 2 (\blackstar) menunjukkan ikatan O-H pada panjang gelombang 3281,86 cm^{-1} . Ikatan C-H berada pada panjang gelombang 2970,08 cm^{-1} dan 1454,15 cm^{-1} . Kemudian pada panjang gelombang 1632,13 cm^{-1} terdapat ikatan C=O. Pada gambar (\blacksquare) menunjukkan ikatan O-H pada panjang gelombang 3281,23 cm^{-1} . Selain itu terdapat ikatan C-H pada panjang gelombang 2969,46 cm^{-1} dan 1457,89 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1630,89 cm^{-1} terdapat ikatan C=O. Sintesis NIPAM-co-asam akrilat dan sintesis NIPAM-co-kitosan dapat dikatakan berhasil apabila tidak adanya grup vinil $\text{CH}_2 = \text{CH}$. Namun bisa juga terjadi sintesis tetapi tidak semua vinil bereaksi, sehingga pada uji FTIR masih ditemukan ikatan C=C.

Analisis Swelling Degree



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap nilai *swelling degree* pada NIPAM-co-kitosan ● konsentrasi 8:2 suhu 10°C ■ konsentrasi 6:4 suhu 10°C ◆ konsentrasi 8:2 suhu 50°C



Gambar 4. Pengaruh suhu terhadap nilai *swelling degree* pada NIPAM-co-asam akrilat ● konsentrasi 8:2 suhu 10°C ■ konsentrasi 6:4 suhu 10°C ◆ konsentrasi 8:2 suhu 50°C

Dari Gambar 3 terlihat bahwa *swelling degree* dari NIPAM-co-kitosan yang terbaik adalah pada konsentrasi 8:2 suhu 10°C dengan suhu *swelling* 10°C. Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi NIPAM maka semakin tinggi nilai *swelling degree*. Hal ini disebabkan oleh sifat dari *thermosensitive* NIPAM pada kopolimer gel yang memiliki hidrofobisitas terhadap perubahan suhu, dimana pada suhu tinggi NIPAM gel akan mengalami *shrinking* (Crowther dkk, 1998). Sifat dari *thermosensitive* NIPAM inilah yang menyebabkan nilai *swelling degree* pada suhu tinggi semakin menurun dan tidak dapat mengalami *swelling* secara maksimal. Sedangkan pada konsentrasi 6:4 nilai pada *swelling degree* sangat kecil.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai *swelling degree* pada pengaruh suhu semakin menurun, semakin tinggi suhu *swelling* maka semakin kecil nilai *swelling degree* yang didapatkan. Hal ini dikarenakan oleh sifat dari *thermosensitive* NIPAM pada kopolimer gel yang memiliki hidrofobisitas terhadap perubahan suhu, dimana pada suhu tinggi NIPAM gel akan mengalami *shrinking* (Crowther dkk., 1998). Dapat dilihat pada Gambar 4 nilai *swelling degree* tertinggi didapatkan pada konsentrasi 8:2 suhu 10°C, sedangkan pada konsentrasi 8:2 pada suhu 50°C didapatkan nilai *swelling degree* yang konstan.

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan analisis FTIR, masih ditemukan gugus vinil namun tidak banyak. Dapat dikatakan bahwa sintesis kopolimer berhasil karena hasil akhir sintesis terbentuk gel walaupun tidak semua vinil bereaksi. Sedangkan berdasarkan uji *swelling degree*, semakin tinggi suhu larutan maka semakin rendah nilai *swelling degree*-nya. Selain itu terbentuknya porositas terjadi karena semakin tingginya suhu sintesis.



Daftar Notasi

T = suhu [$^{\circ}\text{C}$]

d_{swell} = Diameter gel yang telah mencapai *equilibrium swelling* pada suhu tertentu [cm]

d_{dry} = Diameter gel kering [cm]

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2019 dari Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti.

Daftar Pustaka

- Bagus A dan Chynintya G.2018. "Sintesis dan karakterisasi kopolimer berbasis zwitterionic sulfobetaine dan thermosensitive dalam larutan ionik".Skripsi. Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Barakat, M. (2010). New trends in removing heavy metals from industrial waste water.
- Crini, G. (2004). Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment.
- Gao, Y., Lee, K., Oshima, M., Motomizu, S. (2000) Adsorption behavior of metal ions on cross-linked chitosan and the determination of oxoanions after pretreatment with a chitosan column. *Anal. Sci*, 16 :1303–1308.
- Hirokawa Y dan Toyochi Tanaka. 1984. "Volume phase transition in a nonionic gel". *J.Chem.Phys.* Vol 81, hal 71-73.
- I. G. Wenten, Khoiruddin, P. T. P. Aryanti, A. N. Hakim, 2010, Pengantar teknologi membran, Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Keenan, Charles.W, and Kleinfelter, Donald.C, and Wood, Jesse.H.: Pudjaatmaka, A.H, 1993, Kimia untuk universitas, Edisi Keenam, Erlangga, Jakarta
- Kudaibergenov, Sarkyt. 2006. "Polymer Betaine : Syntesis, characterization, and application". *Advance Polimer Science*. Hal 157-218.
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta : Rineka Cipta.
- Rubio J, Sauza ML, Smith RW. 2001. "Overview of flotation as a wastewater treatment technique". *Minerals Engineering*. Vol.15, hal 135-155.
- Salamone JC, Volksen W, Olson AP, Israel SC. 1978. "Aqueous solution properties of a poly(vinyl imidazolium sulphobetaine)". *Polymer*. Vol.19, hal 1157–62.'



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Harsa Prawignya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Alit Istiani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Harsa Prawignya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
- Pertanyaan : Bagaimanakah hasil FTIR yang diperoleh?
Apakah kitosan yang digunakan adalah kitosan hasil produksi sendiri dari cangkang rajungan?
- Jawaban : Reaksi NIPAM-kitosan dan NIPAM-asam akrilat akan melibatkan gugus *vinyl* (C=C) dari NIPAM. Jika gugus *vinyl* tidak terbaca dalam FTIR NIPAM-kitosan dan NIPAM-asam akrilat maka reaksi telah terjadi diantara kedua komponen tersebut (NIPAM dan kitosan; NIPAM dan asam akrilat). Namun, hasil analisis FTIR pada penelitian ini menunjukkan bahwa gugus *vinyl* pada NIPAM-kitosan dan NIPAM-asam akrilat masih terbaca namun sedikit bergeser dari peak awalnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa reaksi telah terjadi antara NIPAM dengan kitosan dan NIPAM dengan asam akrilat, namun tidak semua gugus NIPAM habis bereaksi.
- Kitosan yang digunakan adalah kitosan komersil.

