

Pengaruh Berat Molekul Kitosan Terhadap Kelarutan Karboksimetil Kitosan

Natalia Suseno, Karsono S. Padmawijaya, Je Welly Wirana, dan Michael Julio
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya
Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya 60293
Email: natalia@staff.ubaya.ac.id

Diterima: 27-Mar-2017 Diperbaiki: 02-Mei-2017 Disetujui: 29-Mei-2017

ABSTRAK

Pengaruh Berat Molekul Kitosan Terhadap Kelarutan Karboksimetil Kitosan. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh berat molekul kitosan terhadap sifat kelarutan karboksimetil kitosan pada proses karboksilasi kitosan pada $\text{pH} \geq 7$. Untuk mendapatkan kitosan dengan berbagai berat molekul (M_v $3,7 \times 10^5$ - $2,5 \times 10^6$), dilakukan proses hidrolisis kimia dengan larutan HCl pada berbagai variasi konsentrasi dan waktu hidrolisis. Karboksimetil kitosan disintesis dari kitosan hasil hidrolisis dengan metode alkalisasi dan karboksimetilasi pada kondisi suhu 60°C , waktu 3 jam, dan konsentrasi NaOH 30% (b/v). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kelarutan karboksimetil kitosan meningkat seiring dengan menurunnya berat molekul kitosan yang digunakan. Nilai kelarutan tertinggi karboksimetil kitosan hasil sintesis adalah sebesar 100% dalam pelarut HCl 0,1N; 61,57% dalam asam asetat 1%; dan 65,34% dalam air. Karboksimetil kitosan memiliki serapan FTIR yang kuat pada daerah $1658,61 \text{ cm}^{-1}$ dan $1422,48 \text{ cm}^{-1}$.

Kata kunci: kitosan, karboksimetilasi, karboksimetil kitosan

ABSTRACT

The Effect of Molecular Weight of Chitosan on Solubility Properties of Carboxymethyl Chitosan. This research was conducted to study the effect of molecular weight of chitosan on the solubility of carboxymethyl chitosan in carboxylation process at $\text{pH} \geq 7$. To obtain chitosan with various molecular weights (M_v : 3.7×10^5 - 2.5×10^6), chemical hydrolysis processes were carried out by using various hydrochloric acid concentrations combined with varying time of hydrolysis. Carboxymethyl chitosan was synthesized by alkalization and etherification reaction of chitosan at 60°C , 3 h, and concentration of NaOH 30% (w/v). The results showed that the solubility of carboxymethyl chitosan increased with the decreased of molecular weight of chitosan. The solubility of carboxymethyl chitosan were

100% in HCl 0.1N and acetic acid 10%, 61.57% in acetic acid 1%, and 65.34% in water. Carboxymethyl chitosan has strong FTIR adsorption of carboxymethyl group in 1658.61 cm⁻¹ dan 1412.48 cm⁻¹.

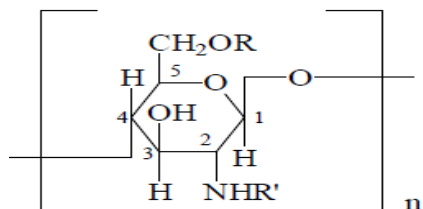
Keywords: *chitosan, carboxymethylation, carboxymethyl chitosan*

PENDAHULUAN

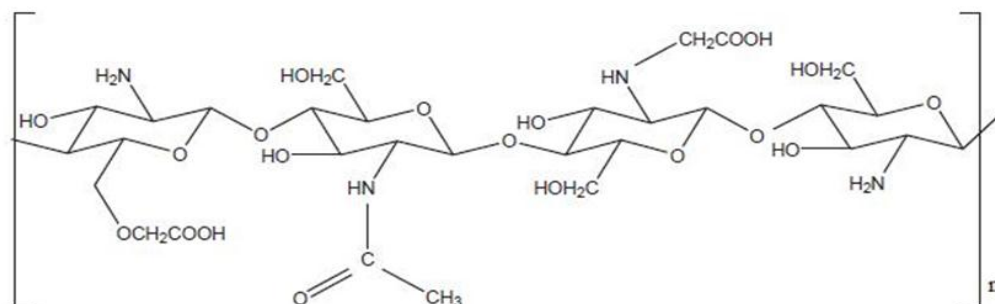
Karboksimetil kitosan (KMK) merupakan bahan alam yang berasal dari senyawa turunan kitosan dan merupakan hasil deasetilasi dari kitin. Kitin adalah biopolimer alami yang diisolasi dari kulit *Crustacea sp*, misalnya udang, ketam, kepiting, serangga, jamur, dan ragi. Salah satu turunan kitin yang paling banyak dikembangkan adalah kitosan. Kitosan dengan rumus umum (C₆H₉NO₃)_n adalah salah satu protein yang memiliki gugus amino yang merupakan basa lemah yang terprotonasi dengan pH < pK_a sekitar 6,5. Pelarutan kitosan hanya dapat terjadi dalam larutan asam encer, antara lain dalam pelarut asam asetat, asam laktat, dan asam klorida encer. Kelarutan kitosan dipengaruhi oleh berat molekul, derajat deasetilasi, dan rotasi spesifiknya yang beragam tergantung pada sumber dan metode isolasi dan transformasinya [1].

Kitosan yang dihasilkan dari proses deasetilasi kitin umumnya memiliki berat molekul cukup tinggi (10⁶-10⁷), sehingga sulit larut dalam air. Kelarutan kitosan dapat ditingkatkan dengan melakukan depolimerisasi atau modifikasi secara kimia. Upaya penurunan berat molekul kitosan dengan cara depolimerisasi dapat dilakukan dengan satu atau dua tahap proses hidrolisis kimiawi menggunakan larutan HCl. Beberapa peneliti telah mempelajari pengaruh kondisi reaksi hidrolisis, meliputi variasi konsentrasi larutan HCl, suhu dan waktu hidrolisis untuk mendapatkan kitosan dengan berbagai kisaran berat molekul antara (10⁵-10⁴) [2-3].

Diantara turunan kitosan yang dapat larut dalam air, KMK merupakan turunan kitosan yang bersifat amfoter akibat gugus -COOH dan -NH₂ yang dimilikinya, sehingga aplikasinya menjadi lebih luas. Aplikasi KMK antara lain sebagai antimikroba, adsorben, membran, dan dapat digunakan juga untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan elektrik dari kertas [4-7]. KMK adalah kitosan yang tersubstitusi oleh gugus karboksimetil pada gugus hidroksil (-OH) dan/atau gugus amina (-NH₂), sehingga KMK dapat membentuk 3 jenis KMK masing-masing N-, O-, N-O KMK. Struktur dari kitosan dan KMK ditunjukkan pada gambar 1, dimana (R, R'=H); dan O-CMC (R=CH₂COOH, R'=H); N,O-CMC(R, R'=CH₂COOH) [8], sedangkan struktur dari N-karboksimetil kitosan ditunjukkan pada Gambar 2 [9].



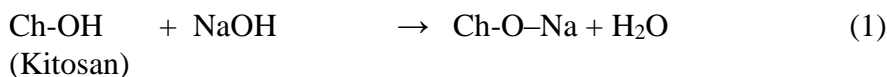
Gambar 1. Struktur kitosan dan karboksimetil kitosan



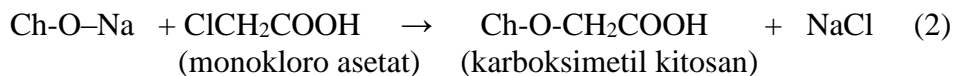
Gambar 2. Struktur N-Karboksimetil kitosan [9]

Pembuatan KMK dapat dilakukan melalui 2 tahap reaksi, yaitu reaksi alkalisasi dan reaksi eterifikasi. Pada tahap alkalisasi terjadi reaksi antara kitosan dengan larutan soda (basa) menjadi alkali kitosan, seperti sedangkan pada tahap karboksimetilasi terjadi reaksi antara alkali kitosan dengan senyawa asam monokloroasetat menjadi KMK. Jika monokloroasetat berlebih dapat bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk hasil samping garam natrium glikonal dan natrium klorida.

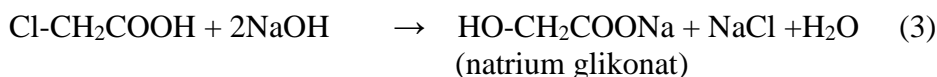
Tahap alkalisasi ditunjukkan melalui reaksi berikut.



Tahap karboksilasi ditunjukkan melalui reaksi berikut.



Reaksi samping yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut.



Berdasarkan kondisi proses sintesis KMK melalui proses alkalisasi dan eterifikasi, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, antara lain rasio monokloroasetat terhadap kitosan, konsentrasi natrium hidroksida, waktu dan suhu reaksi karboksilasi yang mempengaruhi derajat substitusi dan kelarutan dari KMK yang dihasilkan [10-12]. Penelitian pembuatan KMK telah banyak diteliti dengan tujuan untuk meningkatkan kelarutan dan untuk aplikasi tertentu, namun sejauh ini pengaruh variasi berat molekul kitosan terhadap kelarutan KMK belum ditinjau secara khusus. Pada penelitian terdahulu [12], telah dilakukan sintesis KMK dari kitosan dengan berat molekul tertentu ($M_v 2,5 \times 10^6$) dengan metode alkalisasi dan karboksimetilasi pada berbagai variasi konsentrasi natrium hidroksida (10 – 30 %b/v), suhu (40-90°C) dan waktu (1-5 jam). Pada hasil percobaan tersebut, didapatkan bahwa pada kondisi reaksi karboksilasi suhu 60°C, waktu 3 jam, dan konsentrasi NaOH 30% (b/v), kelarutan maksimum KMK dalam air sebesar 57 mg/100 ml air. [12]

Pada penelitian ini dilakukan sintesis KMK dengan kitosan pada berbagai nilai berat molekul dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh berat molekul kitosan terhadap sifat kelarutan KMK. Kondisi proses karboksilasi menggunakan kondisi optimum dari hasil penelitian yang terdahulu. Untuk mendapatkan kitosan dengan berbagai variasi berat molekul ($M_v 10^5$ - 10^6), dilakukan proses hidrolisis kimia dengan larutan asam klorida pada berbagai variasi konsentrasi dan waktu hidrolisis.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah kitosan (PT. Surindo) dengan DD 89,80% dan $M_v 2,50 \times 10^6$. Sodium hidroksida 95% dari PT. Chiwi Kimia. Asam klorida (p.a.), monokloro asetat (p.a.), dan asam asetat glacial dari Merck, serta etanol teknis 70%.

Peralatan yang digunakan terdiri dari peralatan gelas meliputi labu leher 3 dengan volume 500ml, gelas beker, *oil bath*, oven, viskometer ubbelohde, FTIR (type Bruker tensor 27).

Hidrolisis Kitosan

Kitosan yang akan digunakan untuk sintesis KMK dihidrolisis terlebih dahulu agar diperoleh variasi berat molekul. Sebanyak 5 g kitosan yang telah dihaluskan dicampur dengan 200 ml akuades dalam 500 ml labu leher tiga, kemudian ditambahkan 5 ml HCl dengan variasi konsentrasi 3N dan 6N. Campuran kemudian dipanaskan dengan variasi waktu 4, 10, dan 12 jam pada suhu 80 dan 100°C. Setelah mencapai batas waktu yang ditentukan tadi,

campuran kitosan yang terbentuk disaring untuk memisahkan larutan kitosan dengan residu kitosan (apabila terbentuk). Larutan kitosan yang telah dipisahkan, ditambahkan larutan NaOH 10% hingga pH netral atau hingga tidak terbentuk padatan. Residu dicuci dengan air dan padatan yang terbentuk kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C. Kitosan hasil hidrolisis dikarakterisasi nilai berat molekul menggunakan metode viskosimetri [13].

Sintesis Karboksimetil Kitosan

Sintesis karboksimetil kitosan dilakukan dengan proses alkalisasi, dimana 5 g kitosan dicampur dengan larutan NaOH 30% sebanyak 100 ml dan dilakukan pengadukan selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan 15 g asam monokloroasetat dan diaduk selama 3 jam pada suhu 60°C. Campuran hasil reaksi tersebut, kemudian dinetralkan dengan asam asetat 10% dan diendapkan dengan menambahkan larutan etanol 70%. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan endapan dan filtrat. Endapan yang merupakan KMK dikeringkan dalam oven selama 8 jam pada suhu 60°C.

Karakterisasi Kitosan dan Karboksimetil Kitosan

Pengukuran berat molekul kitosan dilakukan dengan metode viskositas intrinsik $[\eta]_{\text{int}}$ menggunakan viscometer Ubbelohde, dimana larutan kitosan dibuat dalam berbagai konsentrasi 0,1-0,5% dalam pelarut asam asetat 1% [13]. Data yang diperoleh kemudian dipetakan pada grafik η_{sp}/C terhadap C . Berat molekul ditentukan menggunakan persamaan Mark-Houwink sebagai berikut.

$$[\eta]_{\text{int}} = k \cdot (Mv)^a \quad (4)$$

dimana $[\eta]_{\text{int}}$ adalah viskositas intrinsik, k adalah konstanta pelarut ($4,74 \cdot 10^{-4}$ dl/g), a adalah konstanta (0,72), dan Mv adalah berat molekul [14].

Derajat Substitusi (DS) ditentukan secara titrasi potensiometri dengan melarutkan 0,2 g KMK dalam 40 ml akuades, kemudian ditambahkan 0,1N HCl hingga pH kurang dari 2. Selanjutnya larutan KMK dititrasi dengan larutan NaOH 0,1N dengan menambahkan indikator phenolphthalein. Derajat Substitusi (DS) dihitung dengan persamaan berikut :

$$DS = \frac{161 \times A}{m \text{ KMK} - 58 \times A} \quad (5)$$

$$A = V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}}$$

dimana V_{NaOH} and C_{NaOH} adalah volume dan molaritas NaOH, m KMK adalah massa dari KMK (g), sedangkan 161 adalah berat molekul glukosamin, dan 58 adalah berat molekul karboksi metal [8].

Kelarutan KMK ditentukan dengan mensuspensikan 100 mg KMK ke dalam 10 mL larutan HCl 0,1 M dan diaduk selama 1 jam pada suhu 25°C. Campuran disaring dengan kertas saring, endapan yang terbentuk dicuci dengan aseton dan dikeringkan pada suhu 60°C [8].

Massa terlarut = massa total sampel – massa yang tidak larut

$$\% \text{ kelarutan} = \frac{\text{massa terlarut}}{100 \text{ ml}} \times 100 \% \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrolisis Kitosan

Berbagai berat molekul kitosan sebagai hasil proses hidrolisis kitosan awal (Mv : $2,5 \times 10^6$) menggunakan HCl dengan variasi konsentrasi, suhu, dan waktu hidrolisis ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi proses hidrolisis terhadap berat molekul kitosan

Konsentrasi HCl (N)	Temperatur (°C)	Waktu (Jam)	Berat molekul (g/mol)
-	-	-	$2,5 \times 10^6$
3N	80	4	$1,6 \times 10^6$
3N presipitasi	80	4	$7,1 \times 10^5$
6N presipitasi	100	10	$4,1 \times 10^5$
6N presipitasi	100	12	$3,7 \times 10^5$

Keterangan: presipitasi adalah hasil perolehan larutan kitosan dari hasil filtrasi yang terendapkan dengan penambahan larutan NaOH.

Tabel 1 menunjukkan berat molekul kitosan semakin rendah dengan bertambahnya konsentrasi HCl, suhu, dan waktu hidrolisis. Hal ini disebabkan karena peningkatan konsentrasi HCl, suhu dan waktu proses meningkatkan laju reaksi hidrolisis dan meningkatkan kelarutan konsentrasi kitosan, sehingga pemecahan ikatan kompleks dapat berjalan dengan lebih sempurna. Berat molekul kitosan hasil hidrolisis bervariasi sebesar Mv $1,6 \times 10^6$ - $3,7 \times 10^5$ [15].

Derajat Substitusi Karboksimetil Kitosan

Reaksi sintesis karboksimetil kitosan terdiri dari 2 tahap proses reaksi, yaitu reaksi alkalisasi kitosan dengan NaOH dan dilanjutkan dengan reaksi kitosan dengan asam monokloroasetat. Nilai derajat substitusi pada berbagai berat molekul (Mv : $2,5 \times 10^6$ - $3,7 \times 10^5$ g/mol) pada kondisi proses eterifikasi

menggunakan 30% (b/v) NaOH, temperatur 60°C, dan waktu selama 3 jam ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Derajat substitusi karboksimetil kitosan terhadap berat molekul kitosan

Berat molekul kitosan Mv (g/mol)	Derajat substitusi (DS)
2,5 x 10 ⁶	1,20
1,6 x 10 ⁶	1,13
7,1 x 10 ⁵	0,88
4,1 x 10 ⁵	0,94
3,7 x 10 ⁵	0,87

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai derajat substitusi (DS) tertinggi sebesar 1,2 terdapat pada KMK dengan berat molekul 2,5x10⁶, dan nilai DS terendah sebesar 0,87 terdapat pada KMK dengan berat molekul 3,7x10⁵. Terjadinya penurunan nilai DS ini disebabkan karena terjadinya penurunan berat molekul. Kitosan dengan berat molekul yang lebih tinggi akan memiliki lebih banyak gugus amina (-NH₂), sehingga lebih banyak substitusi yang terjadi dengan gugus karboksimetil dari asam monokloroasetat. Substitusi gugus karboksimetil akan terjadi pada gugus amina terlebih dahulu, kemudian diikuti dengan substitusi gugus hidroksil. Hal ini disebabkan karena gugus amina lebih kuat menarik ion positif dibandingkan dengan gugus hidroksil [11]. Semakin pendek rantai polimer kitosan, maka gugus amina tersebut juga semakin berkurang sehingga DS akan menurun. Selain itu konsentrasi asam monokloroasetat juga memiliki pengaruh terhadap jumlah gugus karboksil yang tersubstitusi pada kitosan. Penggunaan konsentrasi asam monokloroasetat yang berlebih menyebabkan sejumlah gugus karboksil dari asam monokloroasetat tidak bereaksi secara sempurna dalam pembentukan KMK sehingga sebagian besar asam monokloroasetat telah bereaksi dengan NaOH membentuk garam NaCl dan natrium glikolat.

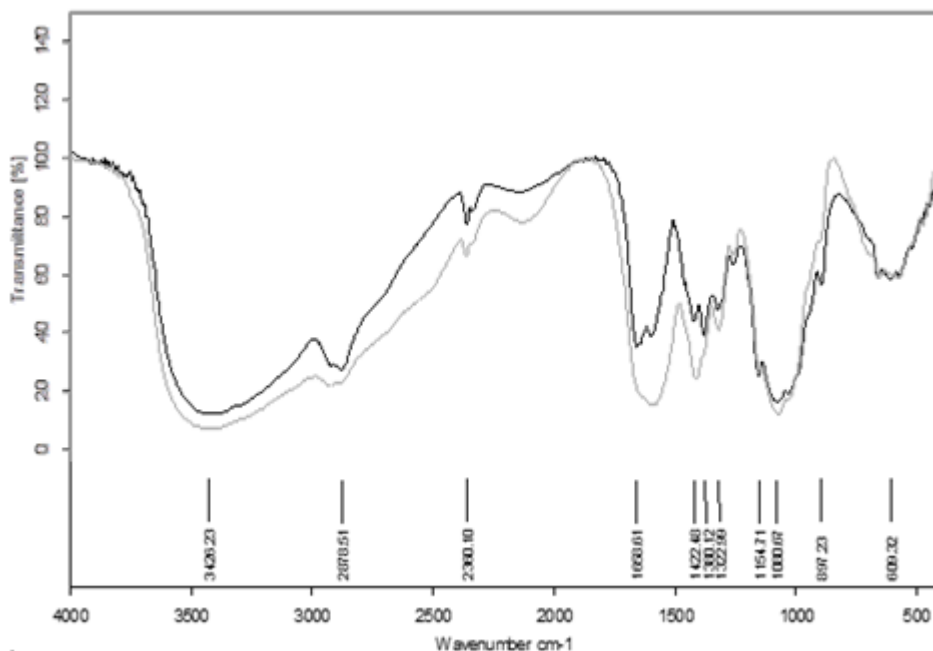
Kelarutan Karboksimetil Kitosan

Tabel 3. Nilai kelarutan karboksimetil kitosan

Berat molekul kitosan Mv (g/mol)	Kelarutan kitosan (%)	Kelarutan karboksimetil kitosan (%)		
	Air	Air	As. Asetat 1%	HCl
2,5 x 10 ⁶	8,15	44,36	43,24	100
1,6 x 10 ⁶	11,46	48,04	49,10	100
7,1 x 10 ⁵	15,20	56,76	54,59	100
4,1 x 10 ⁵	17,40	57,40	55,19	100
3,7 x 10 ⁵	18,35	65,34	61,57	100

Uji kelarutan dilakukan dengan melarutkan karboksimetil kitosan ke dalam pelarut HCl, asam asetat, dan air selama 1 jam. Pelarut yang digunakan dalam uji ini merupakan pelarut yang bersifat polar, sehingga karboksimetil kitosan yang bersifat polar akan larut pada pelarut tersebut. Sifat kepolaran yang dimiliki oleh KMK ini disebabkan karena adanya gugus karboksimetil. Tabel 3 menunjukkan nilai prosentase kelarutan KMK dalam 3 jenis pelarut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penurunan berat molekul kitosan akan meningkatkan kelarutan KMK dalam air dan larutan asam asetat 1%. Kelarutan tertinggi didapatkan pada KMK dengan berat molekul kitosan sebesar $3,7 \times 10^5$ dengan nilai kelarutan 65,34% dalam air, dan 61,57% dalam larutan asam asetat 1%. Kelarutan KMK dalam pelarut HCl 1% memberikan kelarutan sempurna. Perbedaan hasil ini disebabkan karena HCl merupakan asam kuat yang akan terionisasi sempurna ketika berada dalam larutan sehingga dapat memberikan proton (memprotonasi) senyawa OCH_2COOH yang dilarutkan, sedangkan asam asetat merupakan asam lemah yang hanya dapat terionisasi sebagian dalam larutan dan dapat menyebabkan terjadinya kesetimbangan antara ion yang dihasilkan oleh asam tersebut, molekul asam terlarut, dan molekul air. Akibatnya, kemampuan melarutkan senyawa menjadi berkurang [9].

Analisis FTIR



Gambar 3. Spektra FTIR senyawa karboksimetil kitosan

Struktur kimia KMK memiliki gugus fungsi utama antara lain gugus OH, N-H, C-H, dan C=O. Kitosan yang termodifikasi dapat tersubstitusi pada gugus -OH atau gugus N-H. Perubahan kitosan menjadi kitosan termodifikasi ini dapat diamati melalui perubahan gugus-gugus fungsi karakteristiknya. Perbedaan antara kitosan dan KMK terletak pada keberadaan gugus amina atau karboksilnya. Apabila terdapat gugus karboksimetil, maka dapat diperkirakan bahwa KMK telah terbentuk. Perbedaan antara kitosan dan KMK ditunjukkan pada Gambar 3. Pada bilangan gelombang $3424,23\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan -OH untuk KMK. Pada bilangan gelombang $2878,51\text{ cm}^{-1}$ terjadi vibrasi rentang C-H alifatik, sedangkan pada $1658,61\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya pelebaran gugus C=O yang semakin banyak. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan gugus karboksilat (-COOH) yang berarti telah terbentuknya KMK. KMK memiliki serapan FTIR yang kuat pada daerah $1658,61\text{ cm}^{-1}$ dan $1422,48\text{ cm}^{-1}$ [9,11].

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kelarutan karboksimetil kitosan meningkat seiring dengan menurunnya berat molekul kitosan. Nilai berat molekul terendah menghasilkan KMK dengan nilai kelarutan tertinggi untuk semua jenis pelarut yang digunakan (HCl, asam asetat, dan air). Nilai kelarutan tertinggi karboksimetil kitosan hasil sintesis sebesar 100% dalam pelarut HCl 0,1N, 61,57% dalam asam asetat 1%, dan 65,34% dalam air. karboksimetil kitosan memiliki serapan FTIR yang kuat pada daerah $1592,99\text{ cm}^{-1}$ dan $1422,48\text{ cm}^{-1}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada jurusan Teknik Kimia Universitas Surabaya yang telah memberikan dukungan dana untuk kelancaran pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications. Polym Sci 2006;31:603-32.
- [2]. Kasaai MR, Arul J, Charlet G. Fragmentation of chitosan by acids. Sci World J 2013;2013:508-40.

- [3]. Suseno N, Padmawijaya KS, Andree S, Nathanael K. Pengaruh berat molekul kitosan terhadap sifat fisis kertas daur ulang. *Majalah Polimer Indonesia* 2015;18(1):33-9.
- [4]. Farag RK, Mohamed RR. Synthesis and characterization of carboxymethyl chitosan nanogels for swelling studies and antimicrobial activity. *Molecules* 2012;18:190-203.
- [5]. Zamani A, Henriksson D, Taherzadeh MJ. A new foaming technique for production of superabsorbents from carboxymethyl chitosan. *Carbohydr Polym* 2010;80:1091-101.
- [6]. Boricha AG, Murthy ZVP. Preparation of N,O-carboxymethyl chitosan/cellulose acetate blend nanofiltration membrane and testing its performance in treating industrial wastewater. *Chem Eng J* 2010;157(2):393-400.
- [7]. Nada AMA, El-Sakhawy M, Kamel S, Eid MAM, Adel AM. Mechanical and electrical properties of paper sheets treated with chitosan and its derivatives. *Carbohydr Polym* 2006;63:113-21.
- [8]. Tungtong S, Okonogi S, Chowwanapoonpohn S, Phutdhawong W, Yotsawimonwat S. Solubility, viscosity, and rheological properties of water-soluble chitosan derivatives. *Maejo Int J Sci Technol* 2012;6(2): 315-22.
- [9]. Mourya VK, Inamdar NN, Tiwari A. Carboxymethyl chitosan and its applications. *Adv Mat Lett* 2010;1(1):11-33.
- [10]. Basmal J, Prasetyo A, Fawzya YN. Pengaruh konsentrasi asam monokloro asetat dalam proses karboksimetilasi kitosan terhadap karboksimetil kitosan yang dihasilkan. *J Penelitian Perikanan Indonesia* 2005;11:47-56.
- [11]. Rahmawati H, Iskandar D. Sintesis karboksimetil kitosan terhadap pengaruh konsentrasi natrium hidroksida dan rasio kitosan dengan asam monokloro asetat. *J Teknologi Technoscientia* 2014;6(2):145-55.
- [12]. Suseno N, Savitri E, Padmawijaya KS. Study of different operating condition during carboxymethyl chitosan synthesis. *The 14th International Conference on Quality in Research, Lombok* 2015.
- [13]. Costa CN, Teixeira VG, Delpech MC, Souza JVS, Costa MAS. Viscometric study of chitosan solutions in acetic acid/sodium acetate and acetic acid/sodium chloride. *Carbohydr polym* 2015;133:245-50.
- [14]. Knaul JZ, Kasai MR, Bui VT, Creber KAM. Characterization of deacetylated chitosan and chitosan molecular weight review. *Canadian J Chem* 1998;76 (11):1699-706.
- [15]. Paramita ID, Dewi RP, Prasetyaningrum A. Kinetika reaksi hidrolisa LMWCs (Low molecular weight chitosan) menggunakan asam klorida. *J Teknologi Kimia dan Industri* 2012;1(1):513-20.