
POLIMERISASI LARUTAN AKRILAMID DENGAN MEKANISME RADIKAL BEBAS MENGGUNAKAN METODA *MIXED-SOLVENT PRECIPITATION*

Boy Arief Fachri
Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Slamet Riyadi 62 Jember 68111
e-mail: boyarief@yahoo.com

Rochmadi, Arief Budiman
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55281

Naskah diterima 4 Mei 2004, dinilai 10 Mei 2004, dan disetujui 27 Desember 2004

Abstrak

Polimerisasi larutan merupakan polimerisasi akrilamid yang paling umum, akan tetapi memiliki kelemahan dalam proses pemisahan polimer yang terbentuk. Polimerisasi akrilamid dengan mekanisme radikal bebas menggunakan metode *mixed-solvent precipitation* merupakan salah satu cara untuk mengatasi kelemahan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kinetika reaksi polimerisasi akrilamid melalui pengembangan model pada tahap inisiasi, yaitu model 1 untuk order satu dan model 2 untuk order 2. Polimerisasi akrilamid dilakukan secara batch didalam labu leher tiga. Larutan akrilamid dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan mencapai suhu yang telah ditentukan, kemudian ditambahkan inisiator kalium persulfat (suhu dijaga tetap). Cuplikan diambil pada selang waktu tertentu dan kandungan polimer dianalisa dengan cara gravimetri. Peubah yang dipelajari meliputi variasi suhu ($45-60^{\circ}\text{C}$), jumlah inisiator ($2.8.10^{-5}-5.5.10^{-5}$ mol/mL) dan konsentrasi monomer ($3.52.10^{-4}-1.41.10^{-3}$ mol/mL). Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa model 1 dan model 2 dapat menjelaskan kinetika polimerisasi akrilamid, akan tetapi model 1 memberikan ralat rata-rata yang lebih kecil dibandingkan dengan model 2. Secara spesifik, konstanta kecepatan untuk masing-masing reaksi dalam model diperoleh dari hasil percobaan ini.

Kata Kunci : Akrilamid, Kalium Persulfat, *Mixed-solvent Precipitation*, Polimerisasi, Kinetika Reaksi

Abstract

The most common method for producing polyacrylamide is solution polymerization. In this way, the polymer product is difficult to be separated. A method for overcoming this problem is using *mixed-solvent precipitation* method. The kinetics aspect of free-radical polymerization of acrylamide using *mixed-solvent precipitation* method was studied. Acrylamide was polymerized in methanol-water solution with potassium persulfate as initiator. Two models of polymerization were proposed based on the initiation stage. Model 1 described the first order and the second order was represented by model 2. Polymerization of acrylamide was carried out in batch process. A methanol-water solution of acrylamide was charged into the flask and heated to the desired temperature. When the desired temperature was reached, the initiator potassium persulfate was introduced quickly into the reaction medium. Aliquots were taken from the reaction medium at a regular time then analyzed its polymer content by gravimetry method. Variables investigated were temperature ($45-60^{\circ}\text{C}$), amounts of initiator ($2.8.10^{-5}-5.5.10^{-5}$ mole/mL) and monomer concentration ($3.52.10^{-4}-1.41.10^{-3}$ mole/mL). It can be concluded that both model 1 and model 2 can predict well the polymerization of acrylamide. The average error of model 1 is less than model 2. Specifically, the rate constant for every reaction in the models is got from the results of this experiment.

Key Words : Acrylamide, Potassium Persulfate, *Mixed-solvent Precipitation*, Polymerization, The Kinetics Aspect

1. Pendahuluan

Poliakrilamid merupakan poliadiisi yang memiliki kegunaan yang sangat penting, antara lain sebagai adesif, dispersan, flokulan, dan dalam proses pengambilan minyak (Kirk dan Othmer, 1958; Sandler dan Karo, 1992; Ghannam dan Esmail, 1998).

Berbagai macam metode polimerisasi dapat dilakukan dalam pembuatan poliakrilamid, antara lain larutan (Kulichickin, et.al., 1997), enzimatik (Emery, et.al., 1997; Ikeda, et.al., 1998), emulsi (Yan, et.al., 1998), dispersi (Cho, et.al., 2002), curah (Fortenberg, et.al., 2000), dan fotopolimerisasi (Rivarola, et.al., 2001).

Kulichickin, et.al., 1997, melakukan polimerisasi larutan akrilamid pada suhu reaksi 15-35°C dan waktu reaksi 100 menit. Emery et.al., 1997 dan Ikeda, et.al., 1998, melakukan polimerisasi dengan bantuan enzim masing-masing pada suhu reaksi kamar dengan waktu reaksi 150 menit, konversi 80%, berat molekul (BM) 150000-460000, metode analisis yang digunakan dilatometri dan suhu reaksi 50°C dengan BM lebih dari $6 \cdot 10^5$, metode analisis yang digunakan gravimetri.

Sedangkan Yan, et.al., 1998, mempelajari pembuatan poliakrilamid dengan cara emulsi pada suhu reaksi 55°C. Hasilnya diperoleh polimer dengan BM lebih dari 10^5 . Cho, et.al, 2002, melakukan polimerisasi dispersi terhadap larutan akrilamid dengan waktu reaksi 45°C dan konversi yang dicapai lebih dari 90 % dan distribusi BM 1,319-3,751. Metode yang digunakan gravimetri.

Fortenberg, et.al., 2000, melakukan polimerisasi akrilamid pada suhu $100^\circ\text{C} < T < 235^\circ\text{C}$, konversi yang dicapai $76 \pm 6\%$ sedangkan konversi yang dicapai pada fotopolimerisasi akrilamid yang dilakukan oleh Rivarola, et.al., 2001, lebih kecil dari 15%.

Polimerisasi larutan dengan inisiator radikal bebas dalam pelarut air merupakan proses polimerisasi akrilamid yang paling umum dilakukan secara industri karena ekonomis dan dapat menghasilkan polimer dengan berat molekul tinggi, akan tetapi proses ini memiliki kelemahan dalam proses pemisahan polimer. Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan proses polimerisasi larutan adalah dengan metoda *mixed-solvent precipitation*, dengan memakai metanol dan air (Sandler dan Karo, 1992; Kricheldorf, 1992; Cho, et.al, 2002). Penelitian tentang proses polimerisasi akrilamid dengan mekanisme radikal bebas menggunakan metode *mixed-solvent precipitation* mengambil model inisiasi berorder satu dan dua. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mempelajari kinetika reaksi polimerisasi akrilamid, sehingga dapat diperoleh cara-cara dan data kinetiknya.

2. Fundamental

Mekanisme polimerisasi radikal bebas meliputi tiga tahapan yaitu pemicuan (*initiation*), perambatan (*propagation*) dan penghentian (*termination*) (Flory, 1969 dan Odian, 1970). Pada tahap pemicuan, monomer diubah menjadi monomer aktif yang siap tumbuh menjadi rantai polimer. Tahapan ini meliputi dua tahapan reaksi, yaitu tahap pertama dekomposisi inisiator (I) menghasilkan sepasang radikal bebas, $R^\bullet$.



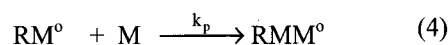
Laju dekomposisi inisiator dinyatakan oleh persamaan

$$-\frac{d[I]}{dt} = k_d [I] \quad (2)$$

Tahapan kedua terjadi reaksi adisi antara monomer, M dengan radikal primer, $R^\bullet$ menghasilkan rantai radikal, $RM^\bullet$.



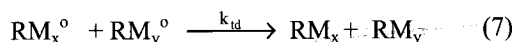
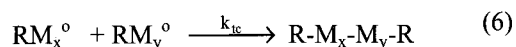
Pada tahap perambatan, monomer bereaksi menjadi rantai polimer yang cukup panjang. Reaksi yang terjadi dinyatakan dalam persamaan,



Laju reaksi propagasi dapat dinyatakan oleh persamaan,

$$r_p = -\left[\frac{d[M]_p}{dt} \right] = k_p [M][RM^\bullet] \quad (5)$$

Tahap penghentian merupakan langkah reaksi yang mengakhiri pertumbuhan polimer hingga terbentuk polimer yang stabil. Penghentian dapat terjadi melalui dua cara, yaitu penggabungan (*coupling*) yang dinyatakan dalam persamaan (6) dan disproporsionasi dalam persamaan (7)



Persamaan (8) dapat digunakan untuk menyatakan persamaan laju reaksi terminasi.

$$r_p = -\left[\frac{d[M]_p}{dt} \right] = k_p [M][RM^\bullet] \quad (8)$$

Hubungan antara suhu dan konstanta laju reaksi didekati dengan persamaan Arrhenius.

$$k = A \exp(-E/RT) \quad (9)$$

sehingga konstanta laju reaksi untuk tiap-tiap tahapan adalah sebagai berikut.

$$k_d = A_d \exp(-E_d/RT) \quad (10)$$

$$k_p = A_p \exp(-E_p/RT) \quad (11)$$

$$k_t = A_t \exp(-E_t/RT) \quad (12)$$

3. Metodologi

Bahan yang digunakan adalah akrilamid, metanol dan kalium persulfat. Akrilamid dan Kalium persulfat dengan kemurnian 99%, diperoleh dari laboratorium Teknologi Polimer Tinggi, Jurusan Teknik Kimia, UGM. Metanol yang digunakan memiliki kemurnian 99,8% dengan titik didih 64,5°C. Hidrokuinon diperoleh dari laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Jurusan Teknik Kimia, UGM

Polimerisasi akrilamid dilakukan secara *batch* dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk, termometer, pendingin tegak, *water-bath* dan pemanas. Larutan akrilamid dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan sampai mencapai suhu reaksi, kemudian ditambahkan inisiator kalium persulfat. Suhu dijaga tetap selama proses polimerisasi. Cuplikan diambil pada selang waktu 30 menit, disaring dan dianalisa kadar polimernya dengan cara gravimetri (Kricheldorf, H., 1992; Sandler, dan Karo, 1992).

Peubah yang dipelajari meliputi variasi suhu, konsentrasi monomer dan konsentrasi inisiator.

Laju inisiasi pada proses polimerisasi memiliki dua model yaitu laju inisiasi order satu dan laju inisiasi order dua (Bawn, 1948). Asumsi yang diambil dalam penelitian ini antara lain kondisinya dianggap *steady state*, reaksi yang terjadi bersifat homogen, efek *chain-transfer* dapat diabaikan, laju pengurangan (konsumsi) monomer dalam tahap inisiasi dapat diabaikan, dan laju propagasi dapat diambil sebagai laju polimerisasi.

Laju inisiasi order satu dinyatakan sebagai berikut (Flory, 1969; Odian, 1970)

$$r_{i,1} = \frac{d[R^0]}{dt} = 2 f k_d [I] \quad (13)$$

dan konsentrasi inisiator, I , dapat dinyatakan seperti dalam persamaan

$$[I] = [I_0] e^{(-k_d t)} \quad (14)$$

Laju polimerisasi dinyatakan oleh,

$$r_{p,1} = -\left[\frac{d[M]}{dt}\right] = k_{p,1} [M] \sqrt{\frac{r_{i,1}}{2k_{t,1}}} \quad (15)$$

$$-\ln \left[\frac{M_t}{M_0} \right] = 2 k_{p,1} \sqrt{\frac{f [I_0]}{k_{t,1} k_d}} \left[1 - e^{(-0,5 k_d t)} \right] \quad (16)$$

atau dapat ditulis ulang menjadi,

$$-\ln[1 - X] = K' \left[1 - e^{(-0,5 k_d t)} \right] \quad (17)$$

Laju inisiasi berorder dua, dibuktikan oleh Kulichikhin dkk. (1997) dalam bentuk

$$-R_{i,2} = k_i [I]^2 \quad (18)$$

Berdasarkan laju dekomposisi inisiator, konsentrasi inisiator, I , dapat dinyatakan

$$I = \frac{I_0}{1 + I_0 k_i t} \quad (19)$$

Laju polimerisasi ditentukan dengan menggunakan persamaan,

$$r_{p,2} = -\left[\frac{d[M]}{dt}\right] = k_{p,2} [M] \sqrt{\frac{r_{i,2}}{k_{t,2}}} \quad (20)$$

$$-\ln \left[\frac{M_t}{M_0} \right] = \frac{k_{p,2}}{\sqrt{k_i k_{t,2}}} \ln [I_0 k_i t + 1] \quad (21)$$

Persamaan (21) disusun dalam bentuk,

$$-\ln[1 - X] = K'' \ln [I_0 k_i t + 1] \quad (22)$$

yang disebut sebagai model 2. Evaluasi nilai K' dan k_d pada model 1 serta nilai K'' dan k_i pada model 2, dengan cara numerik menggunakan metode Hooke-Jeeves untuk dua variabel. Nilai K' , k_d , k_i dan K'' akan optimum apabila nilai SSE minimum

$$SSE = \sum \{ [X]_{hit} - [X]_{data} \}^2 \quad (23)$$

Berdasarkan persamaan (9)-(12) maka nilai K' , K'' , dan $k_p/(k_t)^{1/2}$ dapat ditentukan dari

$$K' = 2 \sqrt{f [I_0]} \frac{A_{p,1}}{\sqrt{[A_{i,1}] [A_d]}} \exp \left[\frac{0,5 E_d + (0,5 E_{t,1} - E_{p,1})}{RT} \right] \quad (24)$$

$$K'' = \frac{A_{p,2}}{\sqrt{[A_i] [A_{t,2}]}} \exp \left[\frac{0,5 E_i + (0,5 E_{t,2} - E_{p,2})}{RT} \right] \quad (25)$$

$$\left(\frac{k_{p,1}}{(k_{t,1})^{1/2}} \right)_1 = \frac{K' \sqrt{k_d}}{2 \sqrt{f [I_0]}} \quad (26)$$

$$\left(\frac{k_{p,2}}{(k_{t,2})^{1/2}} \right)_2 = K'' \sqrt{k_i} \quad (27)$$

Berat molekul polimer dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Mark-Houwink-Sakurada (Flory, 1969),

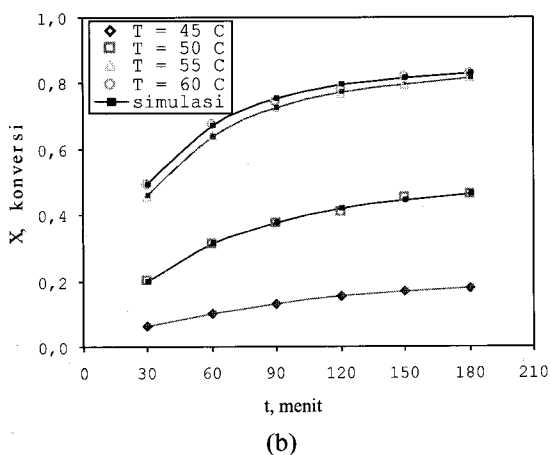
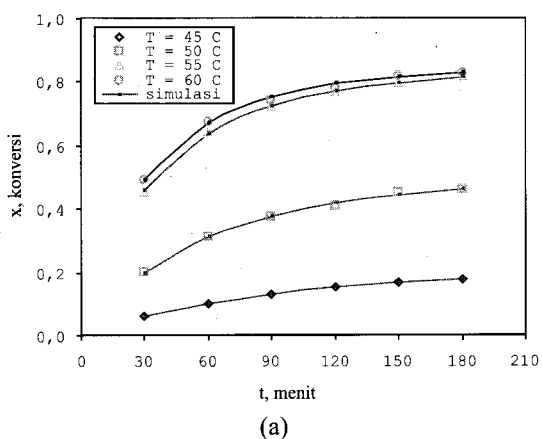
$$[\eta] = K \bar{M}_v^a \quad (28)$$

Untuk poliakrilamid pada suhu 30°C dalam pelarut air dan rentang berat molekul 20000-500000, nilai $K = 6,31 \cdot 10^{-3}$ dan $a = 0,8$ (Brandrup dan Immergut, 1975).

Model kinetika yang diajukan, diuji dengan jalan menghitung ralat rata-ratanya. Karakterisasi polimer ditentukan dengan menghitung berat molekul rata-rata polimer menggunakan metode viskometri.

4. Hasil dan Pembahasan

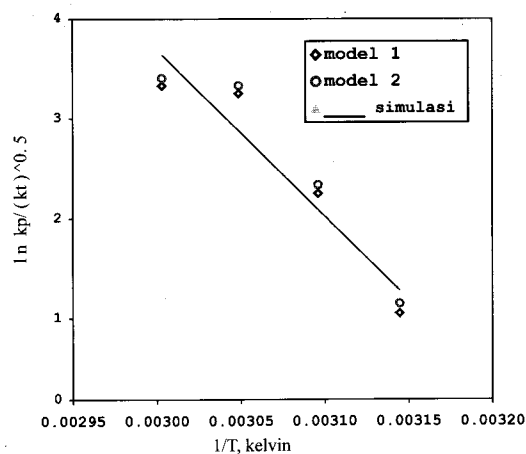
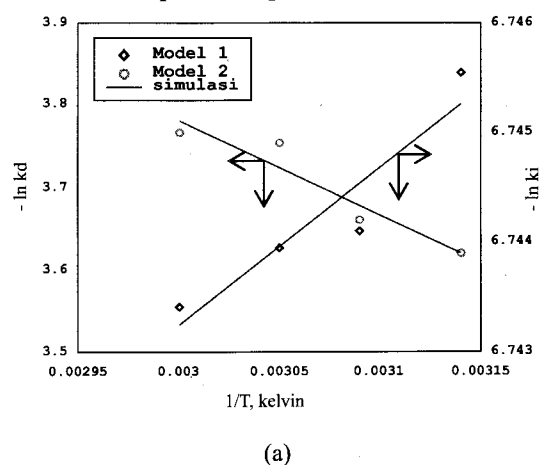
Pengaruh suhu reaksi (pada $[M] = 1,41 \cdot 10^{-3}$ mol/mL dan $[I] = 5,5 \cdot 10^{-4}$ mol/mL) terhadap konversi akrilamid dapat dilihat pada Gambar 1. Simbol-simbol diantara garis menunjukkan data eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Hubungan Konversi Akrilamid dengan Waktu pada Berbagai Suhu Reaksi pada (a) Model 1 dan (b) Model 2

Berdasarkan Gambar 1, kedua model menunjukkan bahwa laju polimerisasi naik dengan cepat ketika radikal terbentuk dan selanjutnya relatif konstan. Pada waktu reaksi yang tetap, untuk suhu yang semakin tinggi, maka konversi juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu, energi kinetik yang dimiliki oleh molekul-molekul akan meningkat sehingga tumbukan yang menghasilkan reaksi kimia semakin banyak.

Hubungan nilai k_d , k_i dan $k_p/(k_t^{1/2})$ dengan suhu reaksi apabila dinyatakan dalam bentuk grafik, menunjukkan kecenderungan yang hampir sama. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Nilai k_d , k_i (a) dan $k_p/k_t^{1/2}$ (b) dengan Suhu Reaksi

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi, maka nilai k_d , k_i dan $k_p/k_t^{1/2}$ juga semakin besar. Semakin besar nilai k_d , k_i dan $k_p/k_t^{1/2}$ akan menyebabkan laju inisiasi dan polimerisasi menjadi cepat.

Hubungan antara nilai k_d , k_i dan $k_p/k_t^{1/2}$ dengan suhu reaksi, dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut.

$$K_d = 7,78 \exp (-3697,39 / RT) \quad (29)$$

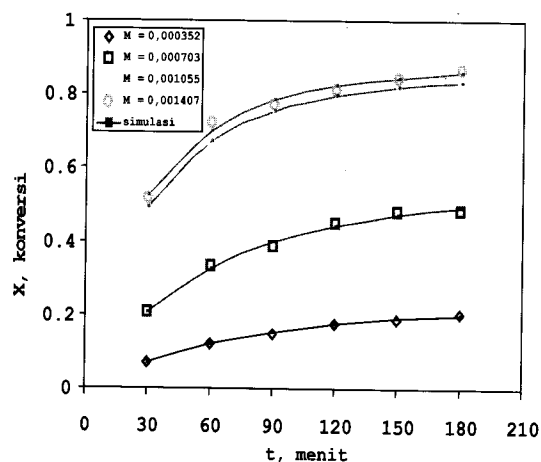
$$k_i = 2,70 \cdot 10^8 \exp (-8393,51 / RT) \quad (30)$$

$$k_p/k_t^{1/2} = 1,37 \cdot 10^5 \exp (-32900,47 / RT) \quad (31)$$

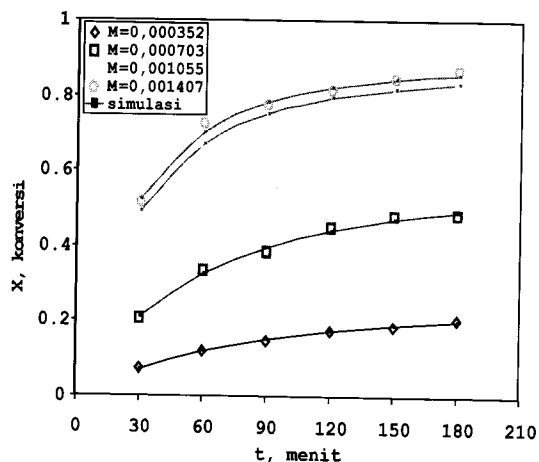
dengan persamaan (29), (30) dan (31) berlaku untuk kisaran suhu 45-60 °C dalam pelarut campuran metanol-air.

Nilai-nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh dalam penelitian ini diasumsi merupakan nilai gabungan yang sudah mewakili semua peristiwa-peristiwa kimia maupun fisis yang terjadi dalam proses polimerisasi.

Pengaruh konsentrasi monomer (pada suhu $T = 60^{\circ}\text{C}$ dan $[I] = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/mL}$) dan konsentrasi inisiator (pada $T = 60^{\circ}\text{C}$ dan $[M] = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ mol/mL}$) terhadap konversi disajikan dalam Gambar 3 dan Gambar 4.

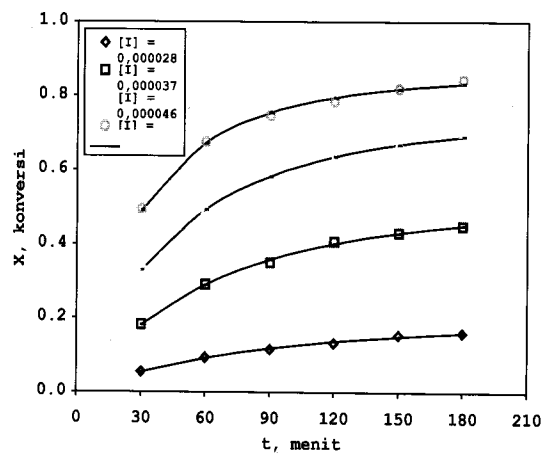


(a)

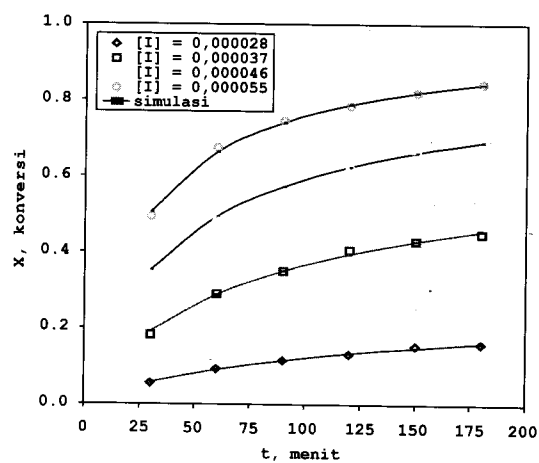


(b)

Gambar 3. Hubungan Konversi Akrilamid dengan Waktu Reaksi pada berbagai Konsentrasi Monomer pada (a) Model 1 dan (b) Model 2



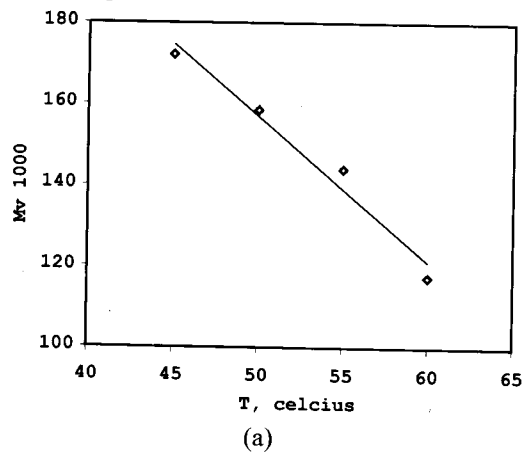
(a)



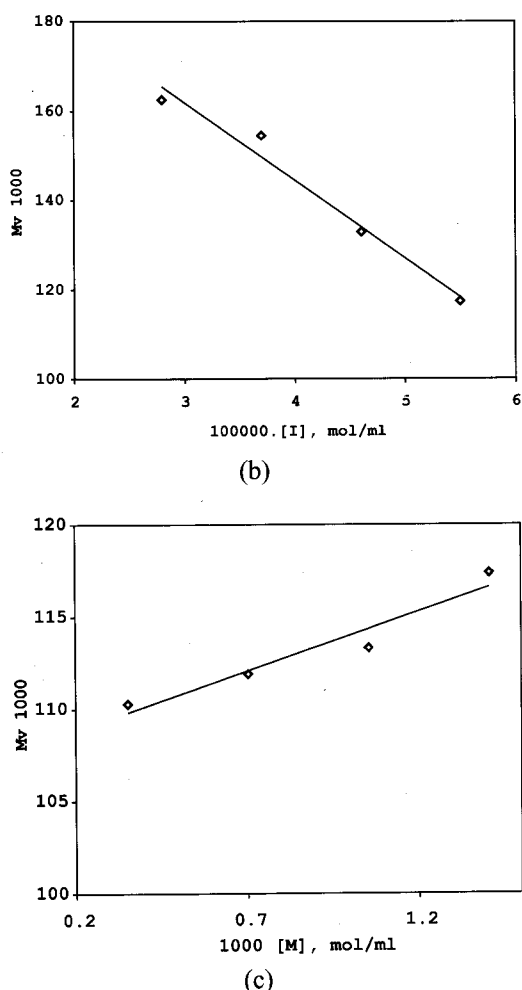
(b)

Gambar 4. Hubungan Konversi Akrilamid dengan Waktu Reaksi pada Berbagai Konsentrasi Inisiator pada (a) Model 1 dan (b) Model 2

Pengaruh suhu reaksi, konsentrasi inisiator dan konsentrasi monomer terhadap berat molekul polimer dapat dilihat dalam Gambar 5.



(a)



Gambar 5. Hubungan (a) Suhu Reaksi, (b) Konsentrasi Inisiator dan (c) Konsentrasi Monomer dengan Berat Molekul Polimer

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu dan semakin besar konsentrasi inisiator, maka berat molekul semakin rendah dan semakin besar konsentrasi monomer maka berat molekul akan semakin besar juga.

Hal ini sesuai dengan teori *kinetic chain length* bahwa suhu dan konsentrasi inisiator berbanding terbalik dengan derajat polimerisasi, dan konsentrasi monomer berbanding lurus dengan derajat polimerisasi (Flory, 1969).

Konversi yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan polimerisasi larutan yang dilakukan oleh Emery, dkk. (1997) dan Dincer, dkk. (1997). Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan media polimerisasi. Cho, dkk. (2002), menyebutkan bahwa pada waktu yang sama, laju propagasi pada polimerisasi larutan lebih lambat dibandingkan polimerisasi dispersi dan pengendapan. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor difusi monomer. Pada polimerisasi larutan,

rantai polimer membentang dalam media dan merupakan *diffusion barriers*, hal ini dapat disebabkan karena viskositas pada polimerisasi larutan lebih tinggi dibandingkan jenis polimerisasi lain. Sifat poliakrilamid yang dapat larut dengan baik dalam air, akan mempercepat naiknya viskositas larutan.

5. Kesimpulan

Laju reaksi polimerisasi akrilamid dengan mekanisme radikal bebas menggunakan metoda *mixed-solvent precipitation*, dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi monomer, dan konsentrasi inisiator. Model kinetiknya dapat dijelaskan dengan baik oleh kedua model yang diajukan. Model 1 memberikan hasil perhitungan ralat rata-rata yang lebih kecil dibandingkan dengan model 2. Nilai energi aktivasi yang diperoleh pada tahap inisiasi 3697,39 kal/mol (model 1) dan 8393,51 kal/mol (model 2), sedangkan untuk tahap polimerisasi sebesar 32900,47 kal/mol.

Daftar Notasi

- k_d = konstanta laju dekomposisi inisiator pada model 1, menit⁻¹
- k_i = konstanta laju dekomposisi inisiator pada model 2, mL/mol. menit
- k_p = konstanta laju propagasi, mL/mol. menit
- k_t = konstanta laju terminasi, mL/mol. menit
- K = konstanta Mark Houwink Sakurada, mg/L
- $\bar{M}_v$ = berat molekul rata-rata viskositas
- r = laju kecepatan reaksi, mol/mL. menit
- T = suhu, kelvin
- t = waktu reaksi, menit
- $[\eta]$ = viskositas intrinsik, g/mL
- a = adisi radikal primer ke monomer
- p = propagasi
- t = terminasi

Daftar Pustaka

- [1] Bawn, C.E.H., (1948), "The Chemistry of High Polymers", Butterworths Scientific Publication, London, pp. 45-65.
- [2] Billmeyer, 1962, "Textbook of Polymer Science", John Wiley and Sons, New York, hal. 262-285.
- [3] Brandrup, J., dan Immergut, E.H., (1975), "Polymer Handbook", 2nd ed., Interscience Publisher, John Wiley and Sons, New York, hal.V-61.
- [4] Cho, M. S., Yoon, K.J., dan Song, B.K., (2002), "Dispersion Polymerization of Acrylamide in Aqueous Solution of Ammonium Sulfate :Synthesis and Characterization", *J. Appl. Polym. Sci.*, 83, hal. 1397-1405.

- [5] Dincer, B., Bayulken, S., dan Sarac, A.S., (1997), "Radical Polymerization of Acrylamide Initiated by Ceric Ammonium Nitrate-Methionone Redox Initiator System", *J. Appl. Polym. Sci.*, 63,1643-hal. 1648.
- [6] Emery, O., Lalot, T., Brigodiot M., dan Marechal, E., (1997), "Free-Radical Polymerization of Acrylamide by Horseradish Peroxidase-Mediated Initiation", *J. Polym. Sci. Part A : Polym. Chem.*, 35, hal. 3331-3333.
- [7] Flory, P.J., (1969), "*Principles of Polymer Chemistry*", 7th ed., Cornell University Press, Ithaca, hal. 106-174.
- [8] Fortenberg, D. I., Pojman, J. A., 2001, "Solvent-Free Synthesis of Polyacrylamide by Frontal Polymerization", *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 38,1129-1135.
- [9] Ghannam, M.T., Esmail, M.N., 1998, "Rheological Properties of Aqueous Polyacrylamide Solution", *J. Appl. Polym. Sci.*, 69,1580-1597.
- [10] Ikeda, R., Tanaka, H., Uyama, H., and Kobayashi, S., 1998, "Laccase-Catalyzed Polymerization of Acrylamide", *Macromol. Rapid Commun.*, 19, No.8, s., 423-425.
- [11] Kirk, R. F., and Othmer, D. F., 1958, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 1, 3rd ed., The Interscience Encyclopedia Inc., New York, hal. 298-329
- [12] Kricheldorf, H., 1992, "Handbook of Polymer Syntheses", John Wiley and Sons, New York, hal. 256-268.
- [13] Kulichikhin, S.G., dan Malkin, A.Ya., 1997, "Rheokinetics of Free Radical Polymerization of Acrylamide in An Aqueous solution", *Polym Eng and Sci.*, 37, hal. 1331-1340.
- [14] Odian, G., 1970, "*Principles of Polymerization*", McGraw-Hill Book Company, New York, hal. 200-226.
- [15] Rivarola, C. R., Bertolotti, S. G., and Previtali, C. M., 2001, "Polymerization of Acrylamide Photoinitiated by Tris (2,2'-bipyridine) Ruthenium (II)-Amine in Aqueous Solution: Effect of Amine structure", *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 39,4265-4273.
- [16] Sandler, S.R., dan Karo, W., 1992, "*Polymer Syntheses*", vol. 1, 2nd ed., Academic Press Inc., San Diego, hal. 420-453.
- [17] Yan, F.C., Zheng, X. Zhai, D. Zhao Karo, W., 1998, "Preparation and Characterization of Polyacrylamide in Cationic Microemulsion", *J. Appl. Polym. Sci.*, 67, 747-754.