

# EKSERGI

## Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Kimia

---

Volume IX, Nomor 1, Juni 2009

---

Metanolisis Minyak Kelapa dengan Katalis Enzim Lipase dalam bubuk Getah Pepaya (*Carica Papaya Latex, CPL*)

*Sri Sukadarti dan Siti Diyar Kholisoh*

Koefisien Perpindahan Massa pada Ekstraksi Protein dari Biji Kecap dengan Pelarut NaOH

*Harsa Pawignya dan Siswanti*

Pembuatan Genteng dari Lumpur Lapindo dan Lempung Pundong dengan Variasi Komposisi

*Purwo Subagyo dan Wasir Nuri*

Polymerization of Styrene in Toluene as a Solvent

*Sri Wahyu Murni, Wasir Nuri, Indriana Lestari dan Ari Saraswati*

Prediksi Kinerja Sistem Integrasi Penyerap Energi Surya dan *Storage* Air dengan Nomogram

*M. Syahri*

Koefisien Perpindahan Massa pada Ekstraksi Tanin dari Putrimalu (*Mimosa Pudika*)

*Tjukup Marnoto dan Gogot Haryono*

Pemecahan Emulsi Minyak Mentah Cepu Menggunakan Gelombang Mikro

*Wasir Nuri*

Distribusi Timbal Dalam Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor Terhadap Penggunaan Lahan di Kawasan Kampus UGM Yogyakarta

*Bambang Kuncoro Kartiko Kusumo*

Pengaruh Katalisator Asam Pada Proses Pembuatan Gliserol Dari Minyak Kelapa Sawit dengan Metanol

*Titik Mahargian dan Purwo Subagyo*

Pembuatan Asap Cair dari Sekam Padi dengan Pirolisa

*Dyah Tri Retno*

Pemanfaatan Cangkang Bekicot Sebagai Koagulan Alternatif untuk Meningkatkan Kualitas Air Sungai Code

*Tunjung Wahyu Widayati, Dyah Tri Retno, Yuni Setyawati, dan Nanik Wijayanti*

# EKSERGI

Majalah Eksergi terbit setahun dua kali pada bulan Juni dan Desember. Berisi tulisan yang disajikan sebagai laporan hasil penelitian dan kajian pustaka (review) berkaitan dengan ilmu dasar dan terapan di bidang Teknik Kimia. Susunan pengurus majalah Eksergi Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta adalah sebagai berikut:

Penanggung Jawab	: Kaprodi Teknik Kimia
Ketua Redaksi	: Abdullah Kuntaarsa, MT
Sekretaris I	: Siti Diyar Kholisoh
Sekretaris II	: Harso Pawignyo, MT
Dewan Redaksi	: 1. Supranto, Prof. Dr. (UPN "Veteran" Yogyakarta) 2. Widayati, PhD (UPN "Veteran" Yogyakarta) 3. M. Syahri, Dr. (UPN "Veteran" Yogyakarta) 4. IGS. Budiaman (UPN "Veteran" Yogyakarta) 5. Y. Dedy Hermawan, Dr. (UPN "Veteran" Yogyakarta) 6. Hj. Sri Sukadarti, MT (UPN "Veteran" Yogyakarta) 7. Arief Budiman, D. Eng. (UGM) 8. Sutijan, PhD (UGM) 9. Anwarudin Hisyam, M. Sc. (UAD) 10. Heri Wibowo, Dr. (LAPAN)

Mitra Bestari : Prof. Ir. Panut Mulyono, M. Eng, D. Eng (UGM).

---

**Alamat Penyunting dan Tata Usaha:** Prodi Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta Jl. SWK. 104 Lingkar Utara Condong catur Yogyakarta (55283). Telepon: (0274) 486889, 487154, Fax. (0274) 486889. Email: [eksergi@gmail.com](mailto:eksergi@gmail.com) atau [eksergi@yahoo.com](mailto:eksergi@yahoo.com).

---

Eksergi diterbitkan sejak Desember 1997 yang semula dikelola oleh Fakultas Teknologi Industri dan sejak bulan Januari 2007 pengelola diserahkan ke Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri berdasarkan surat perintah No: Sprint/13/I/2007.

Redaksi hanya menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media/jurnal ilmiah lainnya.

---

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Metanolisis Minyak Kelapa dengan Katalis Enzim Lipase dalam bubuk Getah Pepaya (Carica Papaya Latex, CPL) Sri Sukadarti dan Siti Diyar Kholisoh	1
Koefisien Perpindahan Massa pada Ekstraksi Protein dari Biji Kecap dengan Pelarut NaOH Harsa Pawignya dan Siswanti	6
Pembuatan Genteng dari Lumpur Lapindo dan Lempung Pundong dengan Variasi Komposisi Purwo Subagyo dan Wasir Nuri	11
Polymerization of Styrene in Toluene as a Solvent Sri Wahyu Murni, Wasir Nuri, Indriana Lestari dan Ari Saraswati	16
Prediksi Kinerja Sistem Integrasi Penyerap Energi Surya dan Storage Air dengan Nomogram M. Syahri	24
Koefisien Perpindahan Massa pada Ekstraksi Tanin dari Putrimalu (Mimosa Pudika) Tjukup Marnoto dan Gogot Haryono	29
Pemecahan Emulsi Minyak Mentah Cepu menggunakan Gelombang Mikro Wasir Nuri	34
Distribusi Timbal Dalam Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor Terhadap Penggunaan Lahan di Kawasan Kampus UGM Yogyakarta Bambang Kuncoro Kartiko Kusumo	40
Pengaruh Katalisator Asam Pada Proses Pembuatan Gliserol Dari Minyak Kelapa Sawit dengan Metanol Titik Mahargiani, Purwo Subagyo	46
Pembuatan Asap Cair dari Sekam Padi dengan Pirolisa Dyah Tri Retno	51
Pemanfaatan Cangkang Bekicot sebagai Koagulan Alternatif untuk Meningkatkan Kualitas Air Sungai Code Tunjung Wahyu Widayati, Dyah Tri Retno, Yuni Setyawati, dan Nanik Wijayanti	56

## Polymerization Styrene dengan Solven Toluena

Sri Wahyu Murni, Wasir Nuri, Indriana Lestari dan Ari Saraswati

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Yogyakarta

Jl SWK 104 Lingkar Utara Condongcatur Yogyakarta

telp. 0274 486889, email: wahyuswm@yahoo.com

### Abstract

Polystyrene is the result of free radical-addition polymerization of styrene monomer with the initiator benzoyl peroxide. This research aims to study the effect of variable temperature and ratio of toluene-styrene (T / S) against the conversion and reaction kinetics of polymerization of styrene with toluene solvent and initiator benzoyl peroxide. This research was conducted in two stages, ie preliminary experiments with test FTIR (Fourier Transform Infra-Red) to prove that the manufacture of polystyrene was successful. Manufacture of polystyrene begins with purifying styrene monomer, and then enter a toluene-styrene (5:1 volume ratio, 5:2, 5:3, 5:4) and 0.2 gram of benzoyl peroxide into a three-neck flask and heated to the desired temperature (60, 70, 80, 90 and 100)<sup>o</sup>C. Samples were taken every 15 minutes. Each sample is added 0.01 grams of hydroquinone in 10 ml of ethanol and shaken gently to precipitate the polystyrene, then wet samples were weighed, put in oven at 200<sup>o</sup>C for 1.5 hours. Dried sample was cooled in eksikator then weighed to determine the weight of polystyrene formed. From the experimental results at optimum condition of reaction time of 120 minutes, the temperature of 100<sup>o</sup>C and toluene-styrene ratio of 5:4, obtained by conversion of 58.75%. The global rate reaction according to equation  $k' = 5963 \exp(-8901 / T)$ .

**Keyword:** polystyrene, addition polymerization, kinetic

### Abstrak

Polistirena merupakan hasil polimerisasi adisi-radikal bebas monomer stirena dengan inisiator benzoil peroksida. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variabel suhu dan perbandingan pereaksi toluena-stirena (T/S) terhadap konversi dan kinetika reaksi polimerisasi stirena dengan pelarut toluena dan inisiator benzoil peroksida. Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan, yaitu percobaan pendahuluan dengan uji FTIR (Fourier Transform Infra-Red) untuk membuktikan bahwa pembuatan polistirena berhasil dilakukan. Pembuatan polistirena dimulai dengan memurnikan monomer stirena, kemudian memasukkan toluena-stirena (perbandingan volume 5:1, 5:2, 5:3, 5:4) dan benzoil peroksida 0,2 gram ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan sampai suhu yang dikehendaki (60,70,80,90,100)<sup>o</sup>C. Pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit. Setiap sampel ditambahkan hidrokuinon 0,01 gram dalam 10 ml etanol dan digoyang perlahan hingga terbentuk endapan polistirena, kemudian sampel basah ditimbang, dimasukkan ke dalam oven pada suhu 200<sup>o</sup>C selama 1,5 jam. Sampel kering didinginkan dalam eksikator lalu ditimbang untuk mengetahui berat polistirena yang terbentuk. Dari hasil percobaan didapatkan kondisi optimum yaitu pada waktu reaksi 120 menit, suhu 100<sup>o</sup>C dan perbandingan toluena-stirena 5:4; diperoleh konversi sebesar 58,75 %. Konstanta kecepatan reaksi gabungan sesuai persamaan  $k' = 5963 \exp(-8901 / T)$ .

**Kata kunci:** polistirena, polimerisasi adisi, kinetika

### I. Pendahuluan

Dewasa ini, plastik telah masuk dalam kehidupan sehari-hari kita, di rumah, di kantor, di rumah sakit, di mana pun hampir semua benda yang kita jumpai terbuat dari plastik. Beberapa diantaranya dibuat dari polistirena. Telah banyak dilakukan penelitian terhadap stirena, antara lain sebagai bahan pembantu pembuatan kaca mobil, peti kemas, peralatan rumah tangga, mainan anak-anak dan sebagainya.

Polimerisasi stirena dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu bulk (*mass*), pelarut (*solution*), emulsi dan suspensi polimerisasi. Tetapi dari keempat cara tersebut, polimerisasi dengan pelarut dipandang lebih menguntungkan untuk skala laboratorium karena lebih menguntungkan dari segi perpindahan panas dan

pengadukannya, meskipun hasilnya kurang murni dibandingkan dengan cara bulk, emulsi dan suspensi. Oleh karenanya kajian tentang polimerisasi stirena menggunakan pelarut toluena diperlukan.

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh suhu dan perbandingan stirena:toluena (pelarut) terhadap konversi dan kinetika reaksi polimerisasi stirena dengan inisiator benzoil peroksida.

### II. Tinjauan Pustaka

#### Proses Polimerisasi

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulung sederhana (Stevens, 2001). Proses polimerisasi berlangsung menurut dua macam cara yaitu polimerisasi kondensasi dan adisi. Dalam

polimerisasi kondensasi terjadi pembentukan molekul polifungsional besar yang melibatkan penggabungan molekul-molekul kecil dan melepaskan sebuah molekul kecil, misalnya air. Contoh polimer yang terbentuk dari reaksi ini yaitu poliester, poliamida dan poliurea. Polimerisasi adisi merupakan reaksi rantai dengan pembawa rantai berupa zat reaktif yang mempunyai satu elektron bebas tak berpasangan yang disebut radikal bebas, atau beberapa ion. Contoh polimer yang terbentuk dari reaksi ini yaitu polietilena, polimetilmetakrilat dan polistirena (Cowd, 1991).

Menurut Groggins (1958) berdasarkan kondisi homogenitas reaksi, ada dua golongan polimerisasi adisi, yaitu : (1) Reaksi homogen meliputi : (a) Polimerisasi ruah (*bulk polimerization*). Polimerisasi tipe ini dilakukan pada kondisi monomer cair atau gas. Meskipun monomer padatan berhasil diubah menjadi polimer, namun reaksinya sangat sulit dan jarang dilakukan. (b) Polimerisasi larutan (*solution polimerization*). Pada polimerisasi ini, monomer dilarutkan secara sempurna di dalam pelarut. Panas reaksi yang dihasilkan selama reaksi dikeluarkan dari keseluruhan sistem pelarut-larutan dan batas kenaikan suhu dapat diatur dari titik didih medium pelarutnya. Kemurnian pelarut dan konsentrasi monomer merupakan faktor penentu polimerisasi. (2) Reaksi heterogen, meliputi : (a) Polimerisasi emulsi (*emulsion polimerization*). Pada tipe ini, monomer diemulsi dalam medium larutan. Suhu proses mudah dikendalikan selama panas reaksi segera diambil dari medium larutan, sehingga setiap kelebihan panas secara efektif dapat dicegah. (b) Polimerisasi suspensi (*suspension polimerization*). Dalam proses ini, monomer (mengandung pemicu yang terlarut) disebarkan sebagai tetesan dalam air. Hal ini dilakukan dengan pengadukan cepat selama reaksi. Polimer hasil yang berbentuk butiran kecil dapat disimpan dengan mudah, dan nisbi tidak tercemar (Cowd, 1991).

Pada umumnya polimerisasi adisi dengan radikal bebas dimulai oleh suatu katalis atau suatu pemula (inisiator) seperti  $O_2$  atau suatu peroksida. Polimer yang terjadi terbentuk oleh suatu proses perambatan rantai (propagasi rantai), sebagai contohnya polimerisasi stirena (Fessenden & Fessenden, 1986).

Monomer dapat diubah menjadi polimer, tergantung pada tinjauan termodinamika dan kinetiknya. Secara termodinamika, polimerisasi hanya dapat terjadi bila beda energi bebas ( $\Delta G$ ) antara monomer dan polimer berharga negatif. Harga  $\Delta G$  yang negatif, tidak hanya dipenuhi oleh kondisi reaksi saja (misalnya jenis, inisiator, suhu dan sebagainya), tetapi juga tergantung pada kondisi kinetika reaksinya (O dian, 1981).

### Mekanisme Reaksi Polimerisasi Stirena

Menurut Cowd (1991) polimerisasi adisi melibatkan reaksi rantai. Penyebab reaksi rantai dapat berupa radikal bebas (partikel reaktif yang mengandung elektron tak berpasangan) atau berupa

ion. Radikal bebas ini berfungsi sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Pada polimerisasi adisi, ikatan rangkap antar karbon memiliki stabilitas yang relatif rendah, sehingga mudah diserang oleh radikal bebas. Polimer penting yang dihasilkan melalui polimerisasi adisi meliputi polimer yang dihasilkan dari turunan etena berbentuk  $CH_2=CHX$  atau  $CH_2=CXY$ , sehingga polimerisasi stirena ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) mengikuti mekanisme polimerisasi adisi.

Menurut Groggins (1958), mekanisme reaksi polimerisasi stirena dapat dijabarkan sebagai berikut :

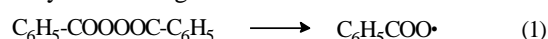
#### 1. Inisiasi

Pada tahapan inisiasi dibagi menjadi dua tahap, yaitu :

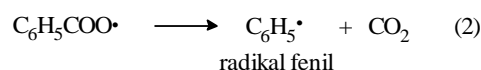
##### a. Dekomposisi inisiator

Di antara berbagai tipe inisiator, peroksida (ROOR) dan hidroperoksida (ROOH) merupakan jenis yang paling banyak dipakai. Senyawa peroksida tidak stabil terhadap panas dan terurai menjadi radikal-radikal pada suatu suhu dan laju yang bergantung pada strukturnya (Stevens, 2001). Rata-rata konstanta dekomposisi orde satu berkisar  $10^{-5} - 10^{-6}$  detik<sup>-1</sup> dengan suhu dekomposisi berkisar antara 50 - 150°C (Billmeyer, 1984).

Dekomposisi yang terjadi pada benzoil peroksida dinyatakan dengan reaksi berikut :

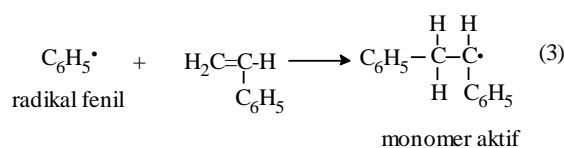


benzoil peroksida                      radikal benzoiloksi      Seb  
agian radikal bebas terdekomposisi lebih lanjut,  
melepaskan  $CO_2$ .



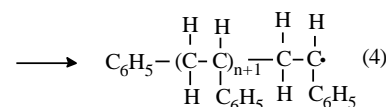
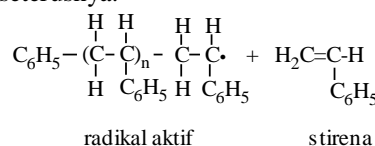
##### b. Adisi monomer pada radikal bebas

Tahap dimana inisiator direaksikan dengan monomer sehingga menghasilkan monomer yang aktif (bentuk radikal).



#### 2. Propagasi

Pada tahap propagasi terjadi reaksi antara monomer aktif dengan monomer, sehingga terbentuk rantai aktif. Rantai aktif kemudian bereaksi lagi dengan monomer menjadi rantai aktif yang lebih panjang dan seterusnya.

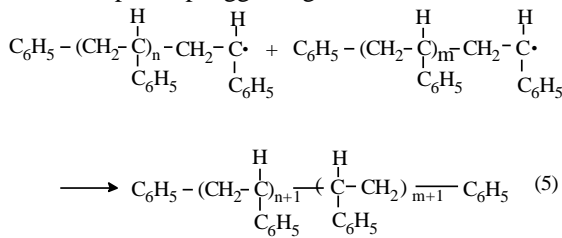


3. Terminasi

Pada tahapan terminasi dibedakan menjadi dua cara :

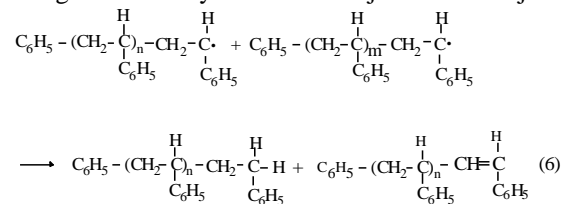
a. Coupling

Merupakan penggabungan dua monomer aktif



b. Disproporsionasi

Merupakan reaksi dua monomer aktif yang menghasilkan senyawa berikatan jenuh dan tak jenuh.



Radikal baru akan meneruskan pertumbuhan rantai. Bila aktifitas radikal baru mirip radikal pembentuknya, maka tidak akan mengganggu kinetika polimerisasi secara keseluruhan (Groggin, 1958).

1. Baik laju polimerisasi maupun berat molekul yang diperoleh dikontrol oleh inisiator, temperatur dan konsentrasi monomer. Laju dan derajat polimerisasi dapat dikendalikan dengan penghambat (inhibitor). Penghambat bereaksi dengan radikal bebas. Dengan demikian, polimerisasi tidak dapat berlangsung sebelum seluruh penghambat habis terpakai. Segera setelah penghambat habis, laju polimerisasi mendekati harga yang sama dengan laju polimerisasi tak terhambat. Kuinon yang merupakan salah satu turunan dari dioksi, dapat bertindak sebagai penghambat bagi banyak sistem polimerisasi, karena reaksi antara kuinon dengan radikal bebas menghasilkan radikal yang mantap karena resonansi. Radikal bebas yang mantap ini tidak dapat memicu reaksi lebih lanjut. Penggunaan penghambat yang penting ialah untuk pemantap monomer. Penyimpanan monomer dalam keadaan murni bisa berbahaya karena jika radikal bebas terbentuk, maka polimerisasi dapat dipicu dan mungkin dipercepat sampai taraf yang berbahaya. Penambahan sejumlah kecil penghambat ke monomer mencegah terjadinya reaksi tersebut. Sebelum monomer dipakai, penghambat harus dihilangkan, misalnya melalui penyulingan monomer (Cowd, 1991).

Dari uraian yang telah dipaparkan, maka faktor yang berpengaruh pada polimerisasi stirena yaitu : (1) Jenis dan konsentrasi inisiator. Sebagian besar monomer memerlukan beberapa jenis inisiator. Inisiator dikelompokkan ke dalam empat tipe utama: peroksida dan hidroperoksida, senyawa azo, inisiator redoks, dan *fotoinisiator* (Stevens, 2001). Inisiator yang dipakai dalam polimerisasi stirena adalah benzoil

peroksida yang berupa padatan kristal yang dapat diaktifkan pada suhu kamar. Konsentrasi inisiator yang tinggi akan mempercepat laju reaksi polimerisasi. Inisiator yang digunakan berkisar antara 0,02 – 0,5% berat monomer (Kent, 1974). (2) Inhibitor. Untuk mencegah terjadinya reaksi yang tidak diinginkan karena faktor cahaya, panas dan oksigen dalam udara, maka hasil polimerisasi dicampur dengan inhibitor dalam konsentrasi rendah, dalam hal ini inhibitor yang dipakai adalah hidrokinon dengan konsentrasi kurang dari 1 % (Kumar dan Gupta, 1998). (3). Perbandingan pelarut dan monomer stirena. Pelarut berfungsi sebagai pengencer dan membantu mengendalikan panas selama proses polimerisasi. Pelarut juga mempermudah proses pengadukan, karena kekentalan berkurang (Cowd, 1991). Pelarut yang dipakai adalah toluena yang mempunyai titik didih sekitar 110-112°C (Kumar dan Gupta, 1998). (4) Suhu. Polimerisasi stirena dapat dijalankan pada suhu sekitar 100°C, karena suhu tersebut merupakan suhu pelunakan polimer stirena (Cowd, 1991).

**Kinetika Polimerisasi Adisi Radikal Bebas**

Kinetika polimerisasi adisi radikal bebas pada stirena berlangsung dalam tiga tahap, yaitu :

1. Inisiasi

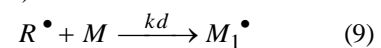
Pada tahap inisiasi terjadi dua tahapan proses, yaitu :

a. Dekomposisi inisiator (I) menghasilkan sepasang radikal bebas (R<sup>•</sup>)



$$-\frac{d[I]}{dt} = kd.[I] \quad (8)$$

b. Terjadi reaksi antar monomer (M) dengan radikal primer, menghasilkan rantai radikal (dengan satu molekul monomer).

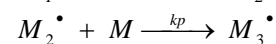
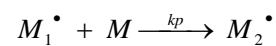


Laju reaksi inisiasi rantai radikal keseluruhan adalah

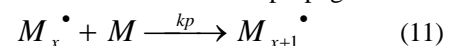
$$v_i = \left( \frac{d[M^{\bullet}]}{dt} \right)_i = 2 \cdot f \cdot kd \cdot [I] \quad (10)$$

3. Propagasi

Pada tahap ini, terjadi pertumbuhan polimer dari M<sub>1</sub><sup>•</sup> hasil reaksi sesuai persamaan (9) menjadi rantai radikal yang lebih panjang dengan penambahan monomer.



Persamaan umum untuk reaksi propagasi adalah :



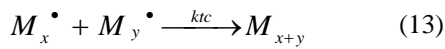
Laju propagasi keseluruhan adalah :

$$v_p = -\left( \frac{d[M]}{dt} \right)_p = kp \cdot [M] \cdot [M^{\bullet}] \quad (12)$$

3. Terminasi

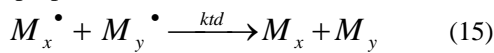
Pada polimerisasi radikal, terminasi dapat terjadi melalui dua cara, yaitu :

a. Coupling



$$v_{tc} = -\left(\frac{d[M\cdot]}{dt}\right)_{tc} = k_{tc} \cdot [M\cdot]^2 \quad (14)$$

b. Disproporsionasi



$$v_{td} = \left(\frac{d[M\cdot]}{dt}\right)_{td} = k_{td} \cdot [M\cdot]^2 \quad (16)$$

$$kt = k_{tc} + k_{td} \quad (17)$$

Laju reaksi terminasi keseluruhan :

$$v_t = -\left(\frac{d[M\cdot]}{dt}\right)_t = 2 \cdot kt \cdot [M\cdot]^2 \quad (18)$$

Pada keadaan awal kecepatan inisiasi besar sedangkan kecepatan reaksi terminasi kecil, tapi semakin lama banyak rantai polimer aktif yang terbentuk mengakibatkan kecepatan reaksi terminasi makin besar. Pada suatu saat tercapai keadaan setimbang, yaitu kecepatan inisiasi sama dengan kecepatan terminasi. Keadaan ini disebut *steady state*. Dari persamaan (10) dan (18), maka pada keadaan ini berlaku :

$$v_i = 2 \cdot kt \cdot [M\cdot]^2$$

$$[M\cdot] = \left(\frac{v_i}{2 \cdot kt}\right)^{1/2} \quad (19)$$

Dari persamaan (10) dan (19) diperoleh :

$$[M\cdot] = \left(\frac{f \cdot kd \cdot [I]}{kt}\right)^{1/2} \quad (20)$$

Laju propagasi pada persamaan (12) merupakan laju polimerisasi keseluruhan. Hal ini disebabkan jumlah monomer yang bereaksi pada tahap inisiasi lebih kecil daripada monomer yang digunakan pada tahap propagasi. Bila persamaan (20) disubstitusikan ke persamaan (12) : (Billmeyer, 1984)

$$v_p = kp \left(\frac{f \cdot kd \cdot [I]}{kt}\right)^{1/2} \cdot [M] \quad (21)$$

Dekomposisi termal inisiator merupakan reaksi orde satu seperti pada persamaan (8) yaitu:

$$-\frac{d[I]}{dt} = kd \cdot [I]$$

Penyelesaian persamaan (8) adalah :

$$[I] = [I_0] \cdot e^{-kd \cdot t} \quad (22)$$

Persamaan (22) kemudian disubstitusikan ke persamaan (20), yang menghasilkan :

$$[M\cdot] = \left(\frac{f \cdot kd \cdot [I_0] \cdot e^{-kd \cdot t}}{kt}\right)^{1/2} \quad (23)$$

Substitusi persamaan (23) ke persamaan (12) dengan menganggap bahwa laju reaksi propagasi tidak dipengaruhi ukuran polimer aktif, sehingga konstanta laju reaksi propagasi (kp) dapat dianggap tetap, menghasilkan persamaan :

$$v_p = -\frac{d[M]}{dt} = kp \cdot [M] \left(\frac{f \cdot kd \cdot [I_0]}{kt} \cdot e^{-kd \cdot t}\right)^{1/2} \quad (24)$$

penyelesaian persamaan (24), dengan batas t = 0 untuk [M] = [M<sub>0</sub>], dan t = t untuk [M] = [M], maka hasil dari integrasi tersebut adalah :

$$\ln \frac{[M_0]}{[M]} = 2 \cdot kp \cdot \left(\frac{f \cdot [I_0]}{kt \cdot kd}\right)^{1/2} \cdot (1 - e^{-1/2 \cdot kd \cdot t}) \quad (25)$$

atau :

$$y = K \cdot (1 - e^{-1/2 \cdot kd \cdot t}) \quad (26)$$

dengan :

$$y = \ln \frac{[M_0]}{[M]} \quad (27)$$

$$K = 2 \cdot kp \cdot \left(\frac{f \cdot [I_0]}{kt \cdot kd}\right)^{1/2} \quad (28)$$

Dimana K adalah perkalian dari konstanta laju reaksi gabungan dengan akar kuadrat inisiator mula-mula. Untuk memperoleh persamaan hubungan y dengan t yang linear, maka persamaan (26) diubah lagi ke bentuk persamaan differensial sebagai berikut :

$$\frac{2}{kd} \frac{dy}{dt} + y = K \quad (29)$$

Persamaan (29) diselesaikan dengan transformasi Laplace, menghasilkan :

$$y(s) = \frac{K}{s \left(\frac{2}{kd} s + 1\right)} \quad (30)$$

atau :

$$\frac{1}{y(s)} = \frac{2}{K \cdot kd} s^2 + \frac{s}{K} \quad (31)$$

Inversi dari persamaan (31) dilakukan sebagai berikut:

$$\frac{1}{s^2} = t$$

$$\frac{1}{y} = \frac{2}{K \cdot kd} \frac{1}{t} + \frac{1}{K} \quad (32)$$

Jika diketahui [M] = [M<sub>0</sub>] \cdot (1-x), maka harga y dapat dinyatakan :

$$y = \ln \frac{[M_0]}{[M_0] \cdot (1-x)}$$

$$\frac{1}{y} = -\frac{1}{\ln(1-x)}$$

Persamaan (32) merupakan persamaan garis lurus dengan slope  $\frac{2}{K \cdot kd}$ . Dari persamaan (28) didapatkan

slope:

$$\frac{2}{K \cdot kd} = \frac{1}{kp} \left( \frac{kt}{f \cdot kd \cdot [I_o]} \right)^{1/2} \quad (33)$$

atau :

$$K' = kp \left( \frac{f \cdot kd}{kt} \right)^{1/2} = \frac{1}{(\text{angka arah}) \cdot [I_o]^{1/2}} \quad (34)$$

Dengan  $K'$  adalah konstanta laju reaksi gabungan, sehingga persamaan (32) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$-\frac{1}{\ln(1-x)} = \frac{1}{K' \cdot [I_o]^{1/2}} \frac{1}{t} + \frac{1}{K} \quad (35)$$

Slope  $\frac{1}{K' \cdot [I_o]^{1/2}}$  didekatkan dengan nilai  $\frac{1}{k'}$ , sehingga persamaan garis lurusnya menjadi :

$$-\frac{1}{\ln(1-x)} = \left( \frac{1}{k'} \right) \frac{1}{t} + \frac{1}{K} \quad (36)$$

Hubungan antara suhu dan konstanta laju reaksi dapat juga dinyatakan dengan persamaan Arrhenius, yaitu :

$$k' = A \cdot e^{-E/RT} \quad (37)$$

Dimana A adalah frekuensi tumbukan dan E adalah energi aktivasi. Jika ditulis dalam bentuk persamaan logaritma menjadi :

$$\ln k' = \ln A - \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (38)$$

harga  $E_a$  dapat ditentukan melalui percobaan berbagai suhu.

### III. Metodologi

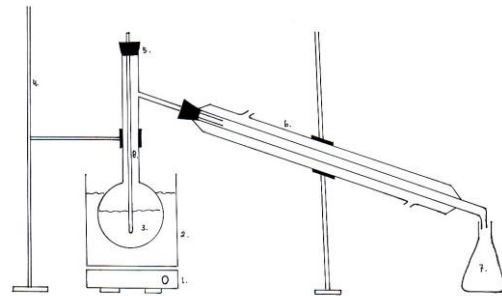
#### 3.1 Bahan

**Bahan baku** yang digunakan adalah stirena p.a. ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) dan toluena p.a. diperoleh dari Laboratorium Polimer UGM, Yogyakarta.

**Bahan pembantu** yang digunakan : Benzoi peroksida ( $(C_6H_5CO_2)_2O_2$ ) dan hidrokuinon ( $C_6H_4(OH)_2$ ), diperoleh dari Laboratorium Polimer UGM, Yogyakarta. Etanol 96% (teknis) diperoleh dari toko Chemix Pratama, Yogyakarta.

#### 3.2. Alat

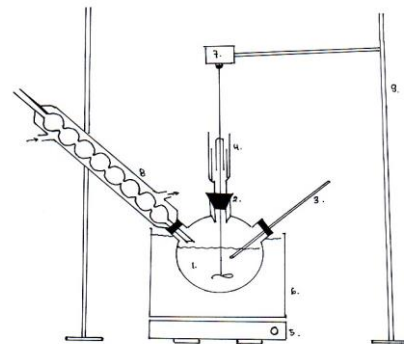
Peralatan yang digunakan berupa serangkaian alat distilasi untuk pemurnian stirena dan alat polimerisasi stirena, disajikan pada Gambar 1 dan 2.



keterangan gambar :

1. Pemanas listrik
2. Oil bath
3. Labu distilasi
4. Statif dan klem
5. termometer
6. pendingin
7. penampung distilat

**Gambar 1. Rangkaian Alat Pemurnian Stirena**



Keterangan gambar :

1. Labu leher tiga
2. Termometer
3. Pengaduk merkuri
4. Pemanas listrik
5. oil bath
6. motor pengaduk
7. pendingin
8. statif

**Gambar 2. Rangkaian Alat Polimerisasi Stirena**

#### 3.3 Cara Penelitian

Penelitian meliputi persiapan bahan baku dan polimerisasi stirena.

##### Persiapan bahan baku

Ditujukan untuk menghilangkan inhibitor yang terkandung dalam monomer stirena. Penghilangan dilakukan melalui proses distilasi pada kisaran suhu 145-150°C. Digunakan peralatan distilasi (Gambar 1).

##### Polimerisasi Stirena

Sejumlah berat toluena dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan sisanya digunakan untuk melarutkan inisiator benzoi peroksida (0,2 g). Larutan benzoi peroksida dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian campuran dipanaskan sampai suhu yang dikehendaki. Setelah itu, monomer stirena dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan campuran diaduk selama proses polimerisasi berlangsung. Pengambilan sampel dilakukan pada interval waktu 15 menit. Analisis hasil dilakukan secara gravimetri.



**3.4 Analisis Hasil Polimerisasi**

Sampel sebanyak 2,5 ml dimasukkan dalam beker gelas yang berisi larutan 0,01 g hidrokuinon dalam 10 ml etanol. Campuran digoyang sampai terbentuk endapan polistirena. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 150°C selama 1,5 jam, setelah dingin ditimbang untuk mendapatkan berat polistirena yang terbentuk.

Penentuan stuktur stirena dan polistirena dengan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*).

**3. Hasil dan Pembahasan**

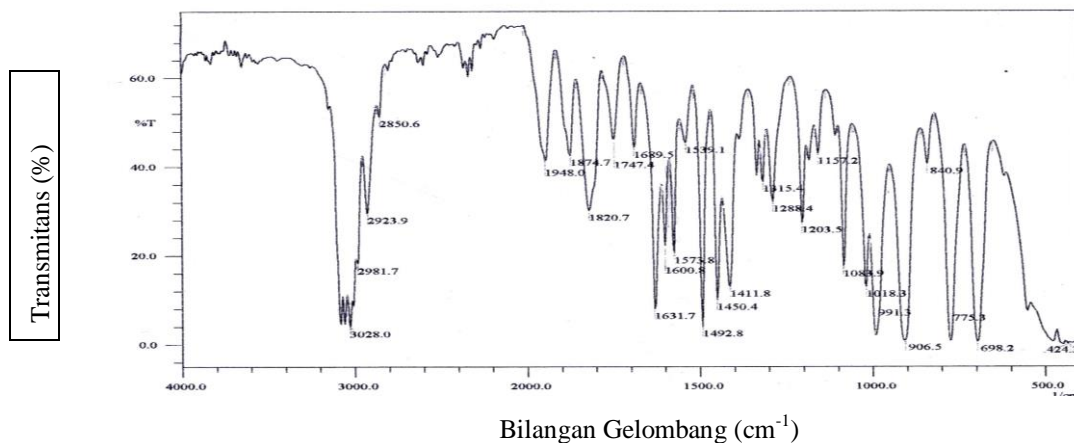
**3.1 Karakterisasi struktur monomer stirena dan polimer polistirena**

Untuk mengetahui apakah polimerisasi stirena telah terjadi, maka dilakukan uji terhadap monomer stirena dan polimer polistirena yang dihasilkan menggunakan FTIR, hasilnya disajikan pada Gambar 3 dan 4.

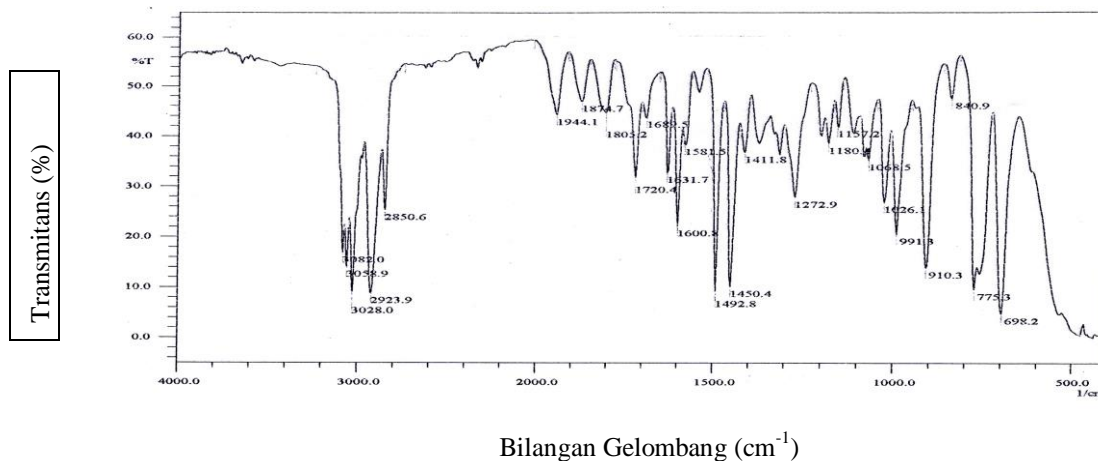
Dari Gambar 3, spektra stirena terlihat adanya pita-pita transmitans antara bilangan gelombang 3100-3000  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus aromatik pada stirena, didukung oleh adanya pita transmitans tajam yang berkekuatan sedang dekat bilangan gelombang 1600-1500  $\text{cm}^{-1}$ . Pita transmitans yang berada pada bilangan gelombang 3080  $\text{cm}^{-1}$  selain menunjukkan gugus

aromatik dalam stirena juga menunjukkan adanya gugus alkena (C=C) diluar gugus aromatik, diperkuat dengan pita transmitans tajam yang berkekuatan sedang pada bilangan gelombang 1631  $\text{cm}^{-1}$ .

Dari Gambar 4, spektra polistirena menunjukkan kenampakan yang sama dengan spektra stirena yaitu munculnya pita-pita transmitans antara bilangan gelombang 3100-3000  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus aromatik, didukung dengan adanya pita transmitans tajam berkekuatan sedang didekat 1600-1500  $\text{cm}^{-1}$ . Namun berbeda dari Gambar 3, pada spektra polistirena timbul pita-pita tajam transmitans pada bilangan gelombang antara 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus alkil pada polistirena, gugus alkil ini terbentuk akibat polimerisasi adisi stirena yang memecah ikatan rangkap alkena pada stirena, hal ini diperkuat dengan hilangnya pita transmitans tajam yang berkekuatan sedang pada bilangan gelombang 1631  $\text{cm}^{-1}$  (Harjono Sastrohamidjojo, 2001). Berdasarkan pembacaan spektra yang berbeda antara Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dibuktikan bahwa polistirena dapat terbentuk dari reaksi polimerisasi stirena dengan pelarut toluena dan inisiator benzoil peroksida.



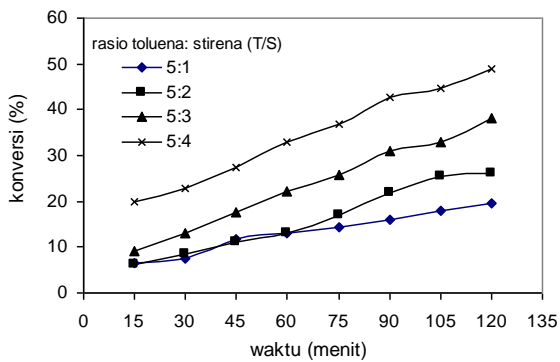
Gambar 3. Spektra FTIR Monomer Stirena



Gambar 4. Spektra FTIR Polistirena

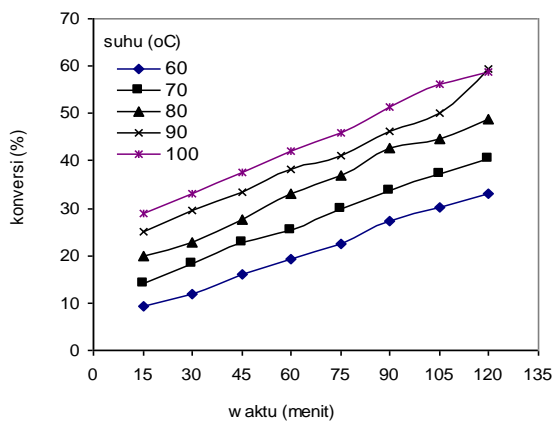
**3.2 Pengaruh Perbandingan toluena : stirena**

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan perbandingan volume toluena-stirena, suhu dan waktu, sedangkan variabel-variabel yang lain dijaga konstan. Variabel yang dijaga konstan adalah: berat inisiator benzoil peroksida: 0,2 gram, kecepatan pengadukan: 450 rpm, berat inhibitor hidrokuinon: 0,01 g; volume etanol: 10 ml; suhu pengeringan hasil : ± 200°C dan waktu pengeringan : 1,5 jam. Hasil-hasil polimerisasi ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6..



**Gambar 5. Pengaruh Perbandingan Toluena-Stirena terhadap konversi pada suhu 80°C**

Berdasarkan Gambar5., diketahui bahwa kenaikan rasio toluena:stirena menaikkan konversi. Semakin besar rasio toluena: stirena, maka konsentrasi stirena meningkat. Dengan meningkatnya konsentrasi stirena, maka akan meningkatkan tumbukan antar molekul yang akan meningkatkan laju reaksi polimerisasi, sehingga konversi yang diperoleh semakin meningkat pula. Diperoleh rasio terbaik pada 5:4.



**Gambar 6. Pengaruh Suhu terhadap konversi dengan Perbandingan Toluena-Stirena 5:4**

Gambar 6., memperlihatkan bahwa konversi meningkat dengan semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu polimerisasi. Dapat dilihat pada awal reaksi bahwa perubahan konversi relatif kecil terutama pada

variasi suhu 60, 70 dan 80 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pada awal reaksi dekomposisi inisiator berjalan lambat. Sedangkan pada suhu 90°C dan 100°C, dekomposisi inisiator benzoil peroksida berjalan cepat dan pada waktu 60 sampai 120 menit terlihat peningkatan konversi yang cukup besar dari waktu sebelumnya, hal ini disebabkan karena semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu polimerisasi menyebabkan inisiator yang terdekomposisi menjadi radikal bebas semakin banyak, sehingga mengakibatkan radikal bebas yang bereaksi dengan monomer stirena semakin banyak, maka rantai aktif yang terbentuk akan semakin panjang. Dengan demikian, jumlah polistirena yang terbentuk akan semakin besar. Pada penelitian ini, ditunjukkan dengan konversi yang semakin meningkat. Dari penelitian pada perbandingan volume toluena-stirena sebesar 5:4 ini dihasilkan konversi tertinggi pada suhu 100°C dengan waktu polimerisasi 120 menit .

**3.4 Parameter Kinetika**

Dengan menggunakan metode least square diperoleh konstanta reaksi gabungan (k') dengan mengalurkan grafik hubungan 1/t terhadap [1/-ln(1-x)] pada perbandingan volume toluena-stirena 5:4 pada berbagai suhu reaksi. Hasil disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1. Pengaruh Suhu terhadap Konstanta Kecepatan Reaksi Gabungan (k') pada Perbandingan Toluena-Stirena 5:4

Suhu (°C)	k' (menit <sup>-1</sup> )
60	0,007536
70	0,012810
80	0,018964
90	0,026531
100	0,031385

Selanjutnya dengan mengalurkan grafik antara ln k' terhadap 1/T diperoleh harga faktor frekuensi tumbukan (A) = 5963 dan energi aktivasi Ea sebesar = 8901 kal/gmol. Sehingga diperoleh hubungan antara k' dan suhu sesuai persamaan k' = 5963 exp (-8901 / T). Persamaan tersebut hanya berlaku untuk suhu reaksi 60 sampai 100 °C.

**IV. Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Polimerisasi stirena menjadi polistirena dapat dilakukan dengan menggunakan pelarut toluena dan inisiator benzoil peroksida. Reaksi polimerisasi stirena dengan pelarut toluena merupakan reaksi orde satu. Konversi polimerisasi meningkat sebanding dengan kenaikan suhu dan perbandingan stirena terhadap toluena. Hasil yang paling baik ditunjukkan pada waktu 120 menit, suhu 100°C dan perbandingan toluena-stirena 5 : 4 dengan konversi 58,75 %. Pada

perbandingan toluena-stirena 5:4, diperoleh harga persamaan  $k' = 5963 \exp(-5963/T)$ .

#### Saran

Untuk kelengkapan hasil, sebaiknya pada penelitian lebih lanjut disertai dengan pengukuran berat molekul polistirena.

#### Daftar Pustaka

- Bilmeyer, F.W., 1984, *Textbook of Polymer Science*, 2<sup>nd</sup> ed, John Wiley & Sons Inc., Singapore.
- Considine, D.M., 1974, *Chemical and Process Technology Encyclopedia*, Mc. Graw Hill Book Co., New York
- Cowd, M.A., 1991, *Kimia Polimer*, Penerbit ITB, Bandung
- Fessenden and Fessenden, 1986, *Kimia Organik Jilid I*, edisi 3, 427-428, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Groggin, P.H., 1958, *Unit Processes in Organic Chemistry*, 5<sup>th</sup> ed, Mc.Graw-Hill Book Co., New York
- Harjono Sastrohamidjojo, 1985, *Spektroskopi*, edisi pertama, Liberty, Yogyakarta
- Hart, H., Craine, L.E., & Hart, D.J., 2003, *Kimia Organik*, edisi 11, alih bahasa : Suminar S.A., Erlangga, Jakarta
- Kent, J.A., 1974, *Handbook of Industrial Chemistry*, 7<sup>th</sup> ed, Van Nostrand Reinhold Co., Houghton, Michigan
- Kumar, A., and Gupta, R.K., 1998, *Fundamentals of Polymers*, Mc.Graw Hill Book Co., New York
- Odian, G., 1981, *Principles of Polymerization*, 2<sup>nd</sup> ed, John Wiley & Sons Inc., New York
- Sittig, M., 1985, *Handbook of Toxic and Hazardous Chemical and Carcinogens*, 2<sup>nd</sup> ed, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey
- Stevens, M.P., 2001, *Kimia Polimer*, edisi 1, alih bahasa : Sopyan I., Pradnya Paramita, Jakarta
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan kelima, Pradnya Paramita, Jakarta
- Weissberger, A., 1955, *Organic Solvents*, 2<sup>nd</sup> ed, Interscience Publishers Inc., New York