

# STUDI AWAL POLIMERISASI OPAL STIRENA-BUTILAKRILAT BERUKURAN SERAGAM SECARA NANOTEKNOLOGI

Evi Oktavia<sup>1</sup>, Nurudin Budiman<sup>2</sup>, Emil Budianto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung

<sup>2</sup> PT Clariant, Tangerang

<sup>3</sup> Universitas Indonesia, Depok

## *A NANOTECHNOLOGY PRELIMINARY STUDY OF OPALINE POLYMERISATION OF MONODISPERSE STYRENE-BUTYL ACRYLATE*

### **ABSTRACT**

*A preliminary study of starved feed stepwise emulsion polymerization was conducted on two monomers, which have a large refractive index difference between the hard monomer styrene and the soft monomer butyl acrylate. Monomer glycidyl methacrylate used as cross linker agent. These monomers are selected to obtain monodisperse polymer colloids for the preparation of elastomeric polymer opaline film. The films showed opaline color shades due to selective reflection of the light wavelength corresponding to the lattice spacing. Surfactant and initiator were maintained at low concentrations in order to obtain polymer colloids of nanometer size i.e. 200 – 300 nm in diameter. These polymer colloids in range sizes of particles were cast dried. They showed the opalescence colors. The effect of concentration surfactant sodium lauryl sulfate and concentration of initiator ammonium persulfate was investigated to obtain theoretically solid content. The polymers prepared with this method were monodispersed at less than 5 %*

Keywords: Emulsion polymerization, cross link, polymer colloid opals, particle size, monodisperse

### **INTISARI**

*Studi awal polimerisasi emulsi dilakukan terhadap dua monomer dengan perbedaan indeks refraksi yang cukup tinggi, antara monomer keras stirena dan monomer lunak butil akrilat. Monomer glisidil metakrilat digunakan sebagai pengikat silang. Polimer koloid yang dihasilkan mempunyai distribusi ukuran partikel seragam, untuk menghasilkan polimer elastomerik berwarna opal. Warna disebabkan oleh hamburan selektif panjang gelombang sinar yang dilewatkan sebanding dengan jarak kisi kristal koloid. Konsentrasi surfaktan dan inisiator dijaga rendah untuk menghasilkan partikel berukuran nanometer yaitu 200 – 300 nm. Polimer dalam wujud kering berwarna opal. Pengaruh surfaktan natrium lauril sulfat, dan inisiator amonium persulfat diamati untuk mendapatkan kandungan padatan teoritis. Polimer mempunyai distribusi ukuran partikel yang seragam, yaitu dibawah 0,05.*

Kata kunci: Polimerisasi emulsi, ikatan silang, polimer koloid warna opal, ukuran partikel, distribusi seragam

### **PENDAHULUAN**

Nanoteknologi berkaitan dengan ukuran yang sangat kecil. Suatu material berukuran nanometer dan mempunyai sifat-sifat yang berbeda dengan ukuran mikro. Nanoteknologi juga berarti penggunaan material yang lebih

sedikit. Di dalam industri pulp dan kertas di dunia, nanoteknologi mulai dikembangkan, di antaranya pelapisan nano berupa lapisan polimer tipis, penyusunan sendiri lapis demi lapis, flokulasi dalam sistem retensi.

Dalam industri kertas, pigmen salut digunakan sebagai estetika dan kemampuan

cetak. Umumnya zat warna dan pigmen merupakan bahan kimia yang mengandung ikatan rangkap terkonjugasi, yang mengabsorpsi radiasi pada daerah sinar tampak. Alternatif untuk menghasilkan warna adalah refleksi selektif. Warna dihasilkan berdasarkan sudut refraksi, dan bukan berdasarkan struktur alami suatu material. (Egen, M *et.al*, 2004). Berdasarkan efek ini, untuk memperoleh warna yang semakin kuat, maka modulasi periodik dari indeks refraksi perlu diperhatikan. Model yang paling sesuai untuk refleksi cahaya yang sangat kuat dapat diamati pada batuan opal alami. (Egen, M *et.al*, 2004)

Beberapa usaha dilakukan untuk mengimitasi refleksi cahaya batuan opal, di antaranya sedimentasi SiO<sub>2</sub> (Rupaner, R., *et. Al.*, 2002) dan kristalisasi polimer (Albrecht, T., 2001 ; Yablonovitch, 1987) sebagai pewarna. Usaha ini dilakukan terhadap material yang mempunyai jarak pita fotonik. Yablonovitch (1987) dan John (1987) memprediksi bahwa kristal dengan kisi pada skala panjang gelombang cahaya modulasi refraktifitas yang periodik akan menunjukkan jarak pita fotonik. Cahaya dengan jarak (*gap*) ini tidak dapat mengalami propagasi di dalam kristal fotonik, sehingga cahaya dari luar akan direfleksikan. Sedangkan cahaya internal yang diemisikan oleh fluoresensi pada cacat kisi kristal akan mengalami lokalisasi. Sifat optik ini bergantung pada perbedaan indeks refraksi yang besar antara partikel bola dengan matriksnya (Ruhl, 2004). partikel bola dan matriksnya ini dianalogikan sebagai inti-kulit (inti-kulit) dalam sistem polimer lateks. Polimer lateks biasa digunakan sebagai bahan salut maupun pengikat pada industri kertas. Lateks berupa campuran partikel bola polimer berukuran nanometer dan air sebagai matriksnya juga merupakan nanomaterial yang ramah lingkungan.

Polimer lateks merupakan material yang menjanjikan untuk kreasi efek warna opal sebagai bahan salut kertas. Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap polimer yang merefleksikan warna pada daerah sinar tampak, diantaranya yaitu polimerisasi tanpa menggunakan surfaktan terhadap stirena dan turunan metakrilat (Egen, *et. al.*, 2002; Egen, *et.al.*, 2004) Egen *et al*, 2004 melakukan polimerisasi sistem tidak kontinu (*batch*) terhadap metil metakrilat terflorinasi. Ruhl *et al.* 2001 – 2004 melakukan riset terhadap polimerisasi inti-kulit semikontinu yang diawali oleh pembentukan benih partikel

(*seeding*). Polimerisasi inti dari monomer keras dilapisi oleh kulit dari monomer lunak. Perbedaan indeks refraksi antara inti dan kulit cukup tinggi. Karenanya, pada ukuran partikel yang sesuai, film kering yang dihasilkan akan merefleksikan warna pada daerah sinar tampak.

Penelitian ini merupakan studi awal polimerisasi opal dari monomer stirena dan butil akrilat. Terdapat dua faktor yang mendasari pemilihan stirena dan butil akrilat. Faktor pertama adalah perbedaan indeks refraksi yang tinggi di antara keduanya. Faktor kedua adalah perbedaan Transisi gelas (T<sub>g</sub>) yang tinggi di antara keduanya. Stirena yang merupakan monomer keras bertindak sebagai inti, dan butil akrilat yang merupakan monomer lunak bertindak sebagai kulit. Studi ini dititikberatkan pada rendemen atau kandungan padatan dan warna pelangi atau opal yang menunjukkan keberhasilan pem-bentukan inti polistirena yang berukuran seragam. Pada penelitian ini digunakan surfaktan sodium lauril sulfat dan inisiator amonium persulfat. Kedua konsentrasi dari komponen ini dijaga pada jumlah rendah, agar dihasilkan ukuran partikel polimer 200 – 300 nm yang seragam, dan sesuai dengan panjang gelombang refleksi warna pada daerah sinar tampak.

## METODOLOGI

Proses polimerisasi emulsi inti-kulit dilakukan secara semi kontinu. Reaktor diisi oleh benih berupa pra-emulsi pertama, yaitu campuran air, KOH, surfaktan, monomer stirena dan monomer pengikat silang glisidil metakrilat. Kandungan stirena dalam benih lebih sedikit daripada stirena total yang digunakan. Benih diaduk pada kecepatan tinggi yang tetap agar dihasilkan ukuran partikel yang seragam. Suhu reaktor dinaikkan hingga 75°C, yaitu suhu terjadinya penguraian amonium persulfat (APS) menjadi radikal bebas ion sulfat. Setelah dicapai suhu 75°C, APS ditambahkan sekaligus (*shot*) agar ukuran partikel yang dihasilkan mempunyai distribusi seragam atau sempit (Ruhl, 2005)

Untuk pembentukan inti stirena, ke dalam reaktor ditambahkan pra-emulsi pertama yang tersisa secara kontinu selama 3 jam (*feeding*). Setelah penambahan stirena berakhir, dilakukan pasca polimerisasi (*aging*) selama 30 menit tanpa penambahan stirena lebih lanjut. Pasca polimerisasi dilakukan pada suhu tetap 75°C.

Untuk pembentukan kulit butil akrilat, ke dalam reaktor yang sama ditambahkan pra-emulsi kedua. Pra-emulsi ini berupa campuran air, surfaktan dan monomer butil akrilat secara

Tabel 1. Pengelompokan trial polimerisasi

Kelompok	Trial	Polimerisasi	Pengikat silang	Jumlah SLS	Kandungan padatan teoritis (%)
I	T 1, T 7, T 5	Inti stirena	-	Rendah	16 – 18
II	T 2, T 11, T 6	Inti stirena	-	Rendah	16 – 18
III	T 3, T 10, T 9	Inti stirena	-	Tinggi	16 – 18
	T 12	Inti stirena	√	Rendah	18
IV	T 3, T 4, T 8	Inti-kulit stirena-butilakrilat	-	Rendah	30 – 32
V	T 13, T 14, T 15	Inti-kulit stirena-butilakrilat	√	Rendah	23 – 24

kontinu selama 4 jam pada suhu 75°C. Polimerisasi dilanjutkan dengan pasca polimerisasi selama 1 jam tanpa penambahan butil akrilat lebih lanjut. Kemudian, dilakukan pendinginan polimer emulsi yang terbentuk sampai mencapai suhu kamar.

Penelitian ini dibagi menjadi 5 kelompok, seperti tampak pada Tabel 1. Variasi dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap rendemen atau kandungan padatan, warna, dan ukuran partikel polimer yang dihasilkan. Polimer emulsi dikarakterisasi dengan cara penentuan nilai kandungan padatan (SC) secara gravimetri menggunakan oven Memmert UM 400. Perhitungan kandungan padatan :

$$\% SC_{\text{eksperimen}} = \frac{A - B}{C} \times 100 \%$$

$$\% SC_{\text{teoritis}} = \frac{\text{berat total formula} - \text{berat formula tanpa air}}{\text{berat total formula}} \times 100 \%$$

Studi ini menggunakan formula dengan kandungan padatan yang bervariasi. Maka, kandungan padatan akan dibahas dalam bentuk persen kedekatan antara SC yang diperoleh dari eksperimen dengan perhitungan SC teoritis, yaitu :

$$\% \text{ Kedekatan SC} = \left[ 100 \frac{SC_{\text{teoritis}} - SC_{\text{eksperimen}}}{SC_{\text{teoritis}}} \right] \times 100 \%$$

Pengukuran pH polimer lateks menggunakan Metrohm pH meter 691, distribusi ukuran partikel polimer lateks menggunakan Malvern ZetaNano Particle Analyzer Nano Series (Nano S), spektrofotometri film kering menggunakan FTIR Shimadzu IR PRESTIGE-21 ATR, dan sifat termal menggunakan alat DSC-60 Shimadzu

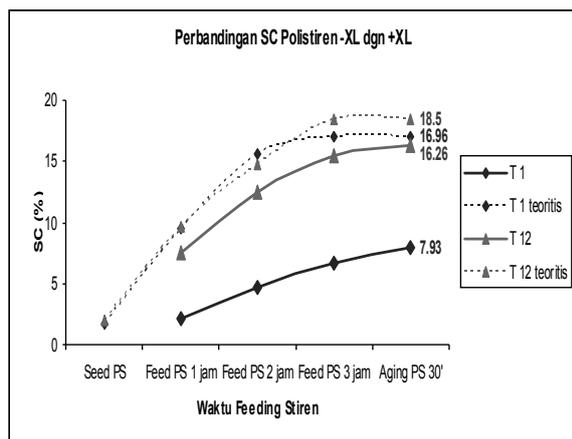
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan padatan

Secara keseluruhan trial polimerisasi menghasilkan kedekatan yang rendah di antara SC eksperimen dengan teoritis. Ini menunjukkan reaksi konversi monomer untuk membentuk polimer berlangsung belum sempurna. Kedekatan SC kelompok I, II, dan IV bernilai rendah. Ketiga kelompok ini menggunakan surfaktan dalam jumlah yang rendah (Tabel 1). Nilai SC yang rendah ini menunjukkan jumlah surfaktan kurang memadai. Sedangkan kedekatan SC tertinggi berada pada kelompok III. Hal ini sesuai dengan teori bahwa makin tinggi jumlah surfaktan sampai batas jumlah tertentu, maka polimerisasi berlangsung semakin baik. (Ruhl, 2005)

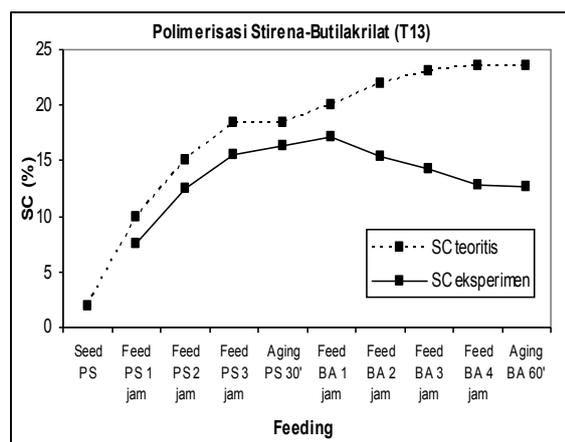
Pada T 12, formula T 1 dimodifikasi dengan penambahan pengikat silang (+XL) glisidil metakrilat (GMA). Pada Gambar 2. terlihat bahwa polimerisasi stirena menggunakan pengikat silang (T 12) menunjukkan hasil yang lebih baik daripada tanpa pengikat silang (T 1). Dengan kata lain, T 12 lebih baik daripada kelompok I, II, dan III. Ini dikarenakan GMA mempunyai gugus akrilat dan epoksi. Gugus-gugus fungsi ini menyediakan pasangan elektron bebas, sehingga memudahkan polimerisasi be-rantai. Selain itu, GMA bertindak sebagai monomer penstabil, seperti halnya asam akrilat (Dow Plastics, 2005).

Glisidil metakrilat mempermudah transfer radikal bebas. Selain itu, bagian hidrofobik dari GMA memberikan kontribusi terhadap bertambahnya hidrofobisitas sistem emulsi. Bertambahnya hidrofobisitas ini menguntungkan untuk terjadinya kristalisasi polimer berwarna opal. Hal ini akan terjadi jika jumlah inisiator rendah seperti formula T 12. Oleh sebab itu, densitas muatan akan rendah jika dibandingkan hidrofobisitasnya yang tinggi (Egen, *et.al.*,2004)



**Gambar 2.** Perbandingan SC polimerisasi T 1 dan T 12

Pada Gambar 3 terlihat SC eksperimen polimerisasi inti stirena (penambahan St selama 3 jam) mengikuti tren yang seharusnya, meskipun masih jauh dari SC teoritis. Sedangkan pada eksperimen kopolimerisasi stirena-butil akrilat (penambahan BA selama 4 jam), SC eksperimen menunjukkan tren menurun. Ini menunjukkan bahwa kopolimerisasi butil akrilat berlangsung kurang sempurna, yaitu sebagian besar mengalami pengenceran sistem emulsi oleh monomer butil akrilat yang disebabkan oleh jumlah surfaktan dan inisiator yang rendah. Namun, formula ini tetap dipertahankan pada konsentrasi keduanya yang rendah atau dilakukan sedikit penambahan variasi jumlah

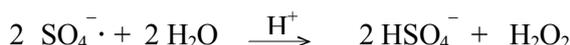
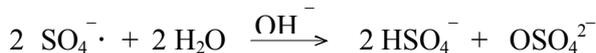
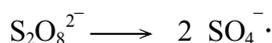


**Gambar 3.** SC eksperimen dan SC teoritis pada polimerisasi stirena-butil akrilat

inisiator dan surfaktan, agar diperoleh polimer opal yang seragam dengan kisaran ukuran partikel 200 – 300 nm.

### Pengaruh APS dan SLS terhadap pH

Nilai SC eksperimen bervariasi, bergantung pada kondisi pH reaksi. Polimerisasi ini tidak menggunakan larutan penyangga, sehingga rasio penggunaan APS terhadap SLS berperan dalam penentuan nilai pH. Polimerisasi menggunakan inisiator APS berlangsung baik pada pH basa.



Data pada Tabel 2 menunjukkan nilai pH yang berbanding terbalik dengan penggunaan APS yang semakin besar. Kemungkinan yang terjadi adalah pembentukan ion hidrogen dari proses pelarutan garam amonium. Pembentukan ion hidrogen ini menyebabkan pH sistem menjadi rendah atau asam. Reaksi yang terjadi yaitu reaksi hidrolisis yang menghasilkan ammonia dan ion hidrogen, dimana ion hidrogen ini berperan dalam penurunan pH (Cotton, dan Wilkinson, 1999). Polimerisasi kelompok I berlangsung pada pH yang sesuai, yaitu basa, tetapi belum menghasilkan SC yang mendekati teoritis. Untuk semua kelompok, rasio APS/SLS menunjukkan angka bervariasi. Penambahan inisiator sensitif terhadap kestabilan emulsi, sedangkan surfaktan lebih berperan pada ukuran partikel polimer.

Kelompok I menunjukkan kisaran pH basa, kelompok II dan III berkisar pH asam. Kelompok I (T1 dan T 7) dan kelompok II (T 2 dan T 11) menggunakan APS yang hampir sama, tetapi kelompok II menunjukkan penurunan pH yang besar dibandingkan kelompok I.

Kelompok II menggunakan SLS lebih banyak daripada kelompok I. Kelompok III menggunakan jumlah SLS yang jauh lebih besar, sehingga terjadi penurunan pH juga. Tabel 2 menunjukkan bahwa SLS mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap pH daripada APS. Ini didukung oleh Boutti *et al* (2005) bahwa kontribusi muatan negatif dari APS (0,1 b/b %) dapat diabaikan jika dibandingkan dengan surfaktan anionik ( $7,4 \cdot 10^{-8}$  mol/L). Penurunan pH akan menurunkan efisiensi persulfat dalam menyediakan radikal bebas (Beyer,., 2003).

Jika hanya memperhatikan pH, maka polimerisasi polistirena pada T 1 dan T 7 (kelompok I) menjanjikan untuk mengalami reaksi polimerisasi inti dengan sempurna.

Diharapkan terbentuk polimer opal dengan kedekatan SC tinggi, yang dijelaskan pada sub bab warna dan ukuran partikel berikut.

### Warna dan Ukuran Partikel

Casting film polimerisasi yang dikeringkan menunjukkan beragam warna. Menurut Ruhl, (2004) warna film akan berubah selama reaksi berlangsung. Pada awal reaksi, film tidak berwarna karena ukuran partikel masih terlalu kecil. Saat reaksi terus berlanjut, warna berubah menjadi sedikit keunguan, lalu biru, hijau, dan akhirnya merah.

Pada T 1, selama reaksi berlangsung warna berubah dari putih, ungu muda, kuning kehijauan, dan terakhir kuning hijau kemerahan. Warna akhir mendekati merah menunjukkan ukuran partikel besar. Pada T 3 dan T 9, warna tidak berubah selama reaksi berlangsung. Tidak adanya perubahan warna ini menunjukkan ukuran partikel yang kecil. Hal ini terjadi karena jumlah SLS yang lebih besar pada formula T 3 dan T 9. Semakin banyak surfaktan maka ukuran partikel polimer semakin kecil (Yablonoitch, 1987) Kaitan warna dan ukuran partikel polimer dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai indeks polidispersitas (PDI) yang rendah menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel adalah seragam. Nilai PDI pada penelitian ini berkisar antara 0,002 – 0,2, ini menunjukkan monodispersitas yang tinggi. Kurva distribusi partikel seragam dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:

Partikel dengan ukuran 200 – 300 nm yang sangat seragam akan merefleksikan warna opal yang kuat. Ukuran partikel dan warna polistirena yang bervariasi dapat dilihat dari hubungannya dengan pH dan persen kedekatan SC (Tabel 1). Pada kelompok I, T 1 dan T 7 menunjukkan persen kedekatan SC rendah, namun T 1 dan T 7 berwarna paling kuat, sesuai dengan ukuran partikel T 1 dan T 7 yang berada dalam kisaran 200 – 300 nm. Peristiwa tersebut terjadi karena keduanya bereaksi pada pH yang sesuai, yaitu basa. Pada pH ini, APS stabil, sehingga dalam penggunaan inisiator dan surfaktan yang rendah, dapat terbentuk ukuran partikel sesuai persyaratan refleksi warna opal.

Kelompok III menunjukkan persen kedekatan SC tinggi, tetapi hanya berwarna putih, atau dihasilkan ukuran partikel terlalu kecil. Hal ini terjadi karena kelompok III

berlangsung pada pH asam. Nilai pH asam diperoleh dari kontribusi jumlah APS dan SLS yang lebih besar dibandingkan trial lain. Hal ini mengakibatkan benih polimer berukuran sangat kecil.

Pada T 8, film kering menunjukkan warna dominan putih sedikit kemerahan. Selama polimerisasi butil akrilat berlangsung, warna semakin menghilang atau memutih. Hal ini menunjukkan ukuran partikel semakin besar, yang hanya merefleksikan pada daerah sinar infra merah (Egen., *et.al.*, 2004) T 8 menghasilkan polimer lunak seperti tujuan semula, akan tetapi tidak menunjukkan rendemen yang sesuai. Persen kedekatan SC inti stirena sangat rendah (22,82 %) dan persen kedekatan SC kopolimer stirena-butil akrilat juga rendah (16,00 %). Oleh karena itu, film elastomerik T 8 terbentuk karena monomer butil akrilat mengembang, dan bukan polimer inti-kulit yang terbentuk (Egen, *et.al.*, 2004)

### Spektrum FTIR dan Nilai Tg

Pada Gambar 6. spektra T 1 dibandingkan terhadap T 12 tidak menunjukkan perbedaan serapan yang signifikan. Perbedaan puncak yang khas pada daerah 1870 – 1540  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan serapan gugus karbonil (C=O) dari ester karboksilat, atau pengikat silang GMA yang digunakan pada T 12. Puncak serapan ini mempunyai intensitas kuat sedangkan spektra pada 1740  $\text{cm}^{-1}$  mempunyai intensitas lemah (Steward, P.A., 2005). Hal tersebut disebabkan oleh jumlah GMA yang ditambahkan hanya sedikit (6% dari berat polistirena).

Pada Gambar 7. perbandingan spektra FTIR untuk T 12 terhadap T 13 tidak mempunyai perbedaan yang besar. Pada T 13, serapan daerah 3100 – 3000  $\text{cm}^{-1}$  merupakan bilangan gelombang dan intensitas yang sama dengan inti T 12. Ini menunjukkan tidak memadainya interaksi antara polistirena dengan butil akrilat dan asam akrilat. Penjelasan ini didukung data karakterisasi termal menggunakan DSC.

Puncak serapan pada 1740  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus karbonil (C=O) untuk T 13 yang lebih kuat daripada T 12 menunjukkan gugus karbonil dari butil akrilat dengan intensitas lebih kuat daripada gugus karbonil dari GMA. Hasil ini sesuai dengan berat butil akrilat yang lebih besar daripada GMA. Puncak serapan pada daerah 1190 - 1140  $\text{cm}^{-1}$  dengan intensitas medium menunjukkan kemungkinan vibrasi C-C(=O)-O ester jenuh atau vinil karboksilat dari butil akrilat.

Tabel 2. Penggunaan APS dan SLS, pH Polimerisasi, dan Kedekatan SC

Trial	APS (b/b %)	SLS (g/L)	Rasio APS (g/L) / SLS (b/b %)	pH	Kedekatan SC (%)
(Kel. I)					
T 1	0.067	0.979	0.0680	8.70	46.76
T 7	0.082	1.006	0.0816	8	22.82
T 5	0.093	0.979	0.0951	8.15	89.14
(Kel. II)					
T 2	0.070	1.025	0.0679	5.23	37.24
T 11	0.083	1.025	0.0815	2.85	45.61
T 6	0.133	0.979	0.1358	2.21	39.14
(Kel. III)					
T 3	0.067	1.635	0.0407	4.81	92.56
T 10	0.081	1.239	0.0658	4.14	96.42
T 9	0.132	4.896	0.0271	2.51	94.74
(Kel. IV)					
T 3	0.040	1.475	0.0271	2.60	33.38
T 4	0.040	1.088	0.0368	2.86	34.63
T 8	0.053	1.120	0.0473	2.38	16.00
T 12	0.069	1.087	0.0637	4.61	87.88
(Kel. V)					
T 13	0.069	1.010	0.0680	2.78	53.74
T 14	0.069	1.010	0.0680	2.56	50.99
T 15	0.069	1.010	0.0680	2.90	59.21

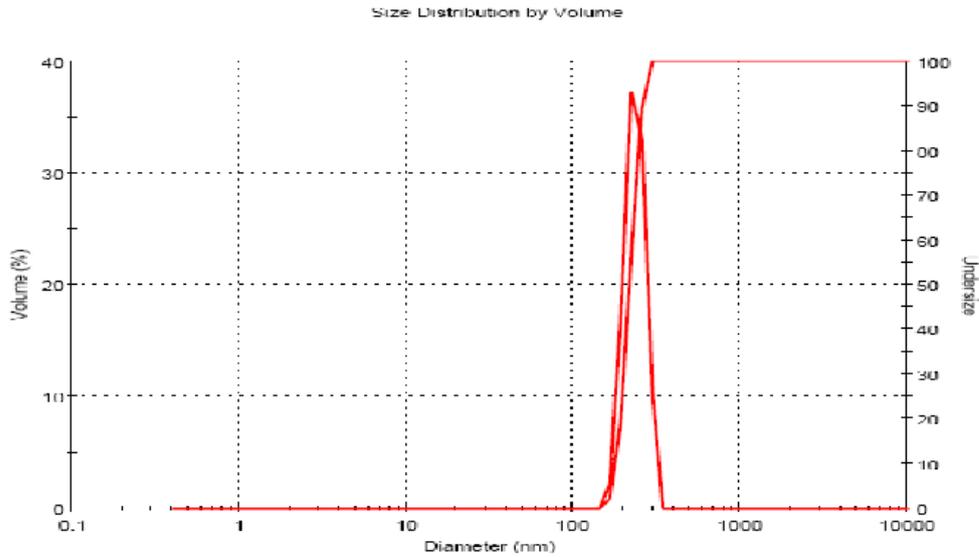
Tabel 3. Data ukuran partikel dan warna

Trial	Ukuran partikel (nm)	Indeks Polidispersitas	Warna	Ket
<b>Inti</b>				
(Kel. I)				
T 1	280,9	0,147	kuning hijau kemerahan hijau kekuningan putih merah kehijauan	++
T 7	249,4	0,015		++
T 5	309,5	0,143		-
(Kel. III)				
T 3	151,8	0,013	putih	-
T 10	186,8	0,004	putih	-
T 9	76,91	0,023	putih	-
T 12	201,9	0,003	ungu	+
<b>Inti-kulit</b>				
T 8	278,1	0,068	putih	-
(Kel. V)				
T 13	233,3	0,024	hijau	+++
T 14	192,7	0,024	ungu	++
T 15	213	0,013	biru	+++

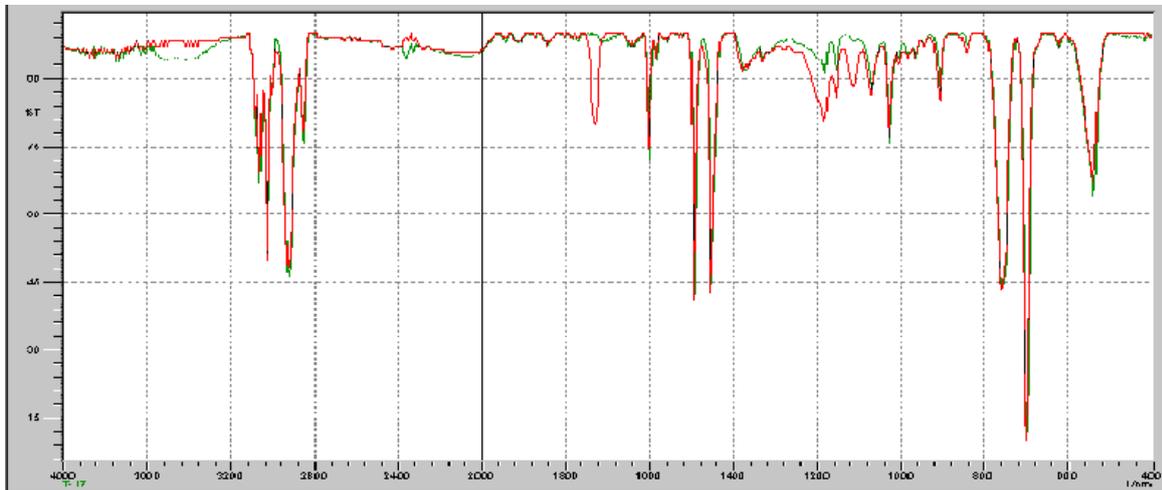
**Keterangan**

+ : termasuk kisaran warna opal (200 – 300 nm)

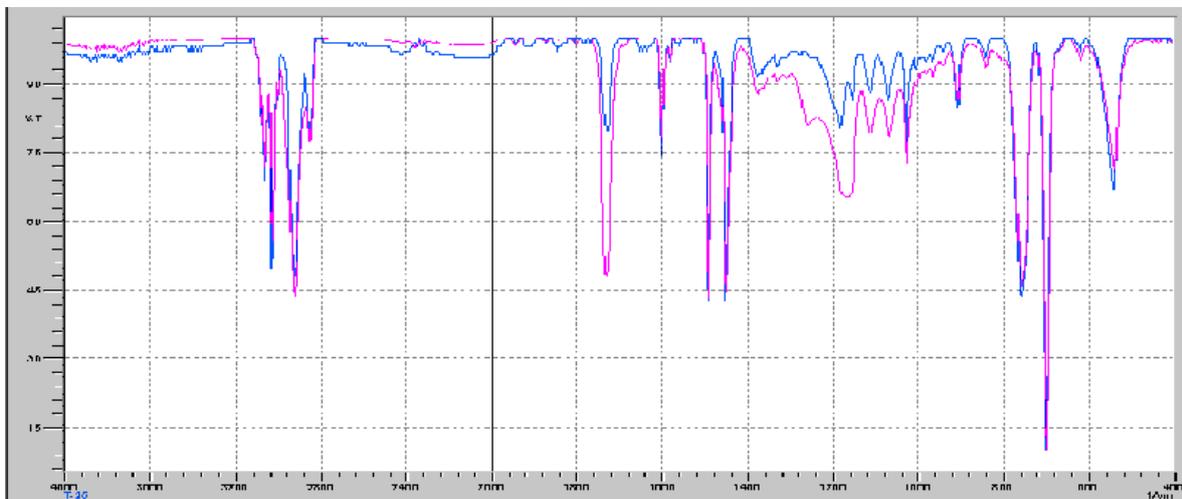
- : tidak termasuk dalam kisaran warna opal (&lt; 200 nm atau &gt; 300 nm)



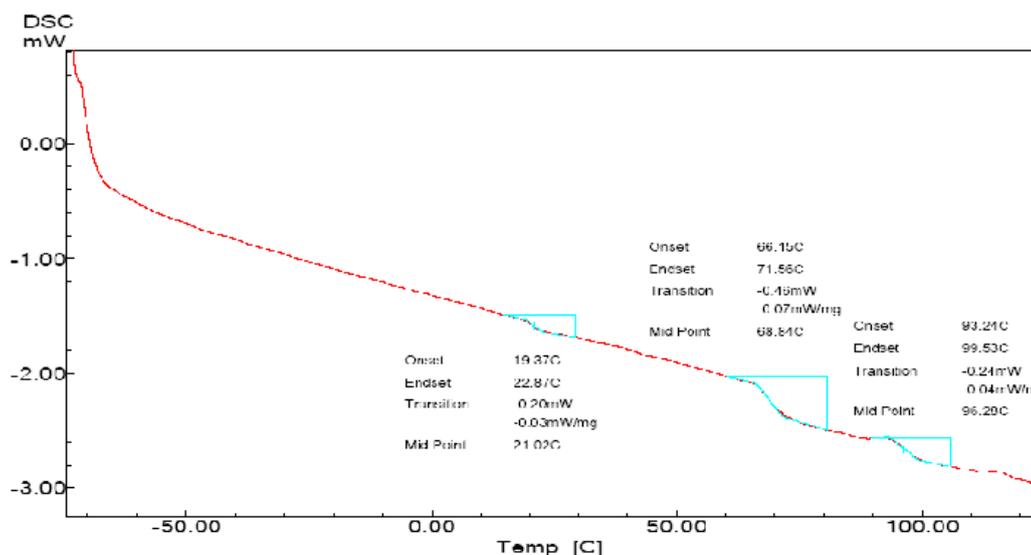
Gambar 5. Distribusi Ukuran Partikel (T 13)



Gambar 6. Spektra inti polistirena T 1 dan T 12



Gambar 7. Spektra inti polistirena (T 12) dan polistirena-ko-polibutilakrilat (T 13)



**Gambar 8.** Kurva DSC T 13

Pada kopolimer biasa, dilakukan polimerisasi dua jenis monomer dengan nilai  $T_g$  yang berbeda, sehingga dihasilkan polimer baru yang mempunyai karakteristik termal yang baru juga, atau terjadi kombinasi  $T_g$  dari kedua monomer tersebut. Pada kopolimer tidak hanya karakteristik termal yang berubah, tetapi sifat fisik lainnya juga berubah. Sedangkan pada polimer inti-kulit, penggabungan dua buah monomer yang mempunyai nilai  $T_g$  berbeda, tetapi tetap mempunyai karakteristik dari masing-masing monomernya. Maka dari itu, pada polimer inti-kulit,  $T_g$  juga tetap mempunyai dua nilai, yaitu dari masing-masing monomer pembentuknya. Gambar 8 diatas menunjukkan kurva DSC formula T 13 .

### Prospek Penggunaan dalam Industri Kertas

Dari hasil karakterisasi secara umum, polimer lateks yang dihasilkan dapat memberikan warna opal yang baik. Distribusi ukuran partikel yang seragam dan ukurannya yang sangat kecil juga memberikan prospek yang baik sebagai bahan pelapis dalam industri kertas. Warna opal memberikan nilai estetika yang tinggi. Di samping itu, polimer emulsi ini berbahan dasar air sehingga ramah lingkungan. Masih diperlukan penelitian lebih lanjut dalam aplikasinya sebagai bahan pelapis kertas.

Gambar 8 menunjukkan tiga nilai  $T_g$  yang merupakan  $T_g$  dari masing-masing monomer pembentuknya.  $T_g$  21,02°C merupakan kenaikan nilai  $T_g$  yang cukup besar dari butil akrilat ( $T_g$  -44°C).  $T_g$  68,84°C merupakan penurunan nilai  $T_g$  dari glisidil metakrilat ( $T_g$  75°C).  $T_g$  96,28°C merupakan penurunan nilai  $T_g$  dari stirena ( $T_g$  100°C). Pergeseran nilai-nilai  $T_g$  ini menunjukkan terjadinya kopolimerisasi pencangkakan (*grafting*) butil akrilat terhadap polistirena, ditambah dengan kehadiran pengikat silang GMA. Munculnya masing-masing  $T_g$  ini dan bukan satu buah  $T_g$  gabungan menunjukkan bahwa T 13 mungkin menghasilkan polimer inti-kulit. Data ini didukung oleh data ukuran partikel dan warna T 13 yang merefleksikan pada sinar tampak.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Jumlah surfaktan lebih berpengaruh daripada jumlah inisiator terhadap rendemen inti polistirena. Penambahan inisiator lebih banyak dan jumlah surfaktan yang konstan, akan mengurangi rendemen polimer. Inisiator akan mempengaruhi kestabilan emulsi dan pH polimerisasi.
- Nilai pH polimerisasi mempengaruhi kestabilan koloid polimer yang terbentuk, sehingga akan mempengaruhi nilai

- kandungan padatan eksperimen. Polimerisasi stirena secara radikal bebas berlangsung baik dalam pH basa.
- c. Ukuran partikel polimer pada kisaran 200 – 300 nm merefleksikan warna pada daerah sinar tampak. Ini sesuai dengan teori pembentukan material jarak pita fotonik. Partikel dengan ukuran lebih kecil dari 200 nm dan lebih besar dari 300 nm tidak merefleksikan sinar tampak atau muncul sebagai warna putih.
  - d. Polimer opal dari polistirena dapat disintesis dengan kandungan padatan eksperimen mendekati teoritis jika digunakan pengikat silang. Polimer yang dihasilkan mempunyai kisaran ukuran partikel 200 – 300 nm yang sangat seragam, yaitu nilai Indeks Polidispersitas di bawah 0,05.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Pusdiklat Departemen Perindustrian RI dan PT Clariant Tangerang yang mendanai penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Beyer, D. Alih bahasa Herawan, 2003. "Buku Pegangan Polimerisasi Emulsi dan Pembentukan Lapisan Film". PT. Pulosyntetics-Clariant Indonesia, Cilegon,
2. Boutti, S.; Zafra, R.D.; Graillat, C.; McKenna, T.F., 2005. "Interaction of Surfactant and Initiator Types in Emulsion Polymerisations; A Comparison of Ammonium Persulfate and Hydrogen Peroxide", *Macromol. Chem. Phys.*, 206, 1355-1372,.
3. Cotton, F.A., Wilkinson, G., 1999, Alih bahasa Suharto, S., "Kimia Anorganik Dasar", Penerbit Universitas Indonesia,.
4. Dow Plastics, "Glycidyl Methacrylate (GMA)".  
<http://www.dow.com/acrylic/products/gma.html> (15 Oktober 2005, 20.05 wib).
5. Egen, M.; Braun, L.; Zentel, R.; Tännert, K.; Frese, P.; Reis, O.; Wulf, M.; 2004. "Artificial Opals as Effect Pigments in Clear-Coatings", *Macromol. Mater. Eng.*, 289, 158-163,
6. Egen, M.; Zentel, R., 2004. "Surfactant-Free Emulsion Polymerization of various Methacrylates; towards Seragam Colloids for Polymer Opals", *Macromol. Chem. Phys.*, 205, 1479-1488,
7. Egen, M.; Zentel, R., 2002. "Tuning the Properties of Photonic Films from Polymer Beads by Chemistry", *Chem. Mater.*, 14, 2176-2183,
8. Ger. 19820302, BASF AG, penemu 2002. Rupaner, R.; Leyrer, R.J.; Schumacher, P.,
9. John, S., 1987. *Phys. Rev. Lett.*, 58, 2486,.
10. Komunikasi pribadi, [truhl@dki-darmstadt.de](mailto:truhl@dki-darmstadt.de), 2005.
11. Ruhl, T.; Spahn, P.; Winkler, H.; Hellmann, G.P., 2004. "Large Area Monodomain Order in Colloidal Crystals", *Macromol. Chem. Phys.*, 205, 1385-1393,
12. Ruhl, T.; Hellmann, G.P.; 2001. "Colloidal Crystals in Latex Films: Rubbery Opals", *Macromol. Chem. Phys.*, 202, 3502-3505,
13. Silverstein, R.M.; Bassler, G.C.; Morrill, T.C., 1981. "Spectroscopic Identification of Organic Compounds", edisi ke-4., John Wiley & Sons, New York,
14. Steward, P.A., "Review of the Surface Chemical Properties of Polymer Latices". [http://www.initium.demon.co.uk/ls\\_nf.htm](http://www.initium.demon.co.uk/ls_nf.htm) (20 Agustus 2005, pk 21.02 wib).
15. USPTO 20040253443, penemu : Anselmann, R.; Winkler, H.; Hellmann, G.P.; Ruhl, T.; Vulpius, G.; Dorr, H., 2004. "Moulded Bodies Consisting of Core-Shell Particles",
16. WO 0188044, Merck Patent GmbH, 2001. penemu : Albrecht, T.; Anselmann, R.; Rodriguez-Mozaz, S.
17. Yablonovitch, E., 1987. *Phys. Rev. Lett.*, 58, 2059,