

PENGARUH ASAM STEARAT TERHADAP KARAKTERISTIK PEMATANGAN, SIFAT MEKANIK DAN *SWELLING* VULKANISAT KARET ALAM DENGAN BAHAN PENGISI *ORGANOCLAY*

Arief Ramadhan dan M. Irfan Fathurrohman

Pusat Penelitian Karet
Jl. Salak No.1 Bogor 16151
e-mail : irfan@puslitkaret.co.id

Diterima: 12 Juni 2012

Diperbaiki: 7 September 2012

Disetujui: 21 November 2012

ABSTRAK

PENGARUH ASAM STEARAT TERHADAP KARAKTERISTIK PEMATANGAN, SIFAT MEKANIK DAN *SWELLING* VULKANISAT KARET ALAM DENGAN BAHAN PENGISI *ORGANOCLAY*. Pengaruh asam stearat terhadap karakteristik pematangan, sifat mekanik dan *swelling* vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* telah dipelajari. Pencampuran *organoclay* ke dalam karet alam dibuat dengan menggunakan metode pelelehan kompon (*melt compounding*). Asam stearat ditambahkan ke dalam karet secara insitu dan eksitu bertujuan untuk meningkatkan eksfoliasi *organoclay* dalam matriks karet alam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa torsi maksimum (S_{max}) dan perbedaan torsi ($S_{max}-S_{min}$) semakin menurun dengan peningkatan dosis asam stearat. Penambahan asam stearat tidak berpengaruh terhadap waktu kematangan optimum (t_{90}) dan hanya sedikit meningkatkan waktu pematangan dini (ts_2). Kekerasan vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* relatif tetap dengan semakin meningkatnya dosis asam stearat. Perbandingan asam stearat terhadap *organoclay* lebih dari 1:1 akan menurunkan kuat tarik vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay*. Perpanjangan putus vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* sedikit meningkat sampai dengan perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1. Kekuatan sobek vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* semakin meningkat dengan peningkatan dosis asam stearat secara eksitu, akan tetapi jika secara insitu, kekuatan sobek vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* naik sampai dengan perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1. *Swelling* vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* meningkat dengan peningkatan dosis asam stearat.

Kata kunci: Asam Stearat, *Organoclay*, Karet Alam

ABSTRACT

THE EFFECT OF STEARIC ACID ON CURING CHARACTERISTIC, MECHANICAL PROPERTIES AND SWELLING OF ORGANOCLAY FILLED NATURAL RUBBER VULCANIZATES. The effect of stearic acid on curing characteristic, mechanical properties and swelling of organoclay filled natural rubber vulcanizates was studied. The mixing of organoclay into natural rubber by using melts compounding method. Stearic acid was added into rubber by insitu and exsitu as a purpose for increasing exfoliation of organoclay in natural rubber matrix. The result showed that maximum torsion (S_{max}) and difference torsion ($S_{max}-S_{min}$) reduced with increasing of stearic acid loading. Adding of stearic acids were not effect to optimum curing time (t_{90}) and slightly increasing scorch time (ts_2). The hardness of organoclay filled natural rubber vulcanizates were relatively constant with increasing stearic acid loading. The ratio of stearic acid and organoclay more than 1:1 will be reducing tensile strength of organoclay filled natural rubber vulcanizates. The elongation at break of organoclay filled natural rubber vulcanizates were increased until the ratio of stearic acid : organoclay is 1 : 1. The tear strength of organoclay filled natural rubber vulcanizates were increased with increasing of stearic acid loading by using exsitu, but for insitu, the tear strength of organoclay filled natural rubber vulcanizates were increase until the ratio of stearic acid : organoclay is 1 : 1. The swelling of organoclay filled natural rubber vulcanizates increase with increasing of stearic acid loading.

Keywords: Stearic Acid, Organoclay, Natural Rubber

PENDAHULUAN

Tanah liat (*clay*) merupakan bahan alami yang dapat diaplikasikan sebagai bahan pengisi menggantikan karbon hitam pada industri karet. Tanah liat adalah mineral murah dan setelah dimodifikasi menjadi bagian penting dalam industri karet, dimana penggunaannya sebagai bahan pengisi ekonomis dan ramah lingkungan untuk memodifikasi karakteristik dan perbaikan sifat karet alam dan sintetis sebagai bahan baku suatu produk [1].

Organoclay merupakan lempung (*clay*) yang dimodifikasi dengan menggunakan kation organik. Kation tersebut dapat merubah sifat lempung dari hidrofilik (suka air) menjadi lebih hidrofobik (tidak suka air) sehingga menjadi kompatibel dengan karet alam untuk dijadikan sebagai bahan pengisi. Penelitian terkait pemakaian *organoclay* pada polimer dilakukan pertama sekali oleh tim riset dari Toyota [2] yang melakukan analisis tentang nanokomposit dari *polyamide 6* dengan *organophilic clay (organoclay)*. Hasilnya menunjukkan bahan peningkatan dalam hal sifat mekanik dan sifat fisik produk jika dibandingkan dengan *polyamide 6* dalam bentuk murninya.

Dari sekian banyak jenis tanah liat, *montmorillonite* merupakan bahan anorganik paling sering yang ditambahkan sebagai bahan pengisi pada karet alam [3-5]. *Montmorillonite* terdiri lapisan-lapisan berukuran nanometer (0,96 nm) dengan jarak antar lapisan 1,2 nm hingga 1,5 nm, serta memiliki kemampuan untuk mengalami interkalasi (peningkatan jarak antar lapisan) dan eksfoliasi (pemecahan lapisan-lapisan hingga terdispersi merata, seperti fiber ukuran sangat kecil, dalam matriks tertentu) [6]. Interkalasi dan terutama eksfoliasi berkorelasi dengan peningkatan sifat mekanik suatu matriks material lain [7]. Saat ini *organoclay* berbasis *montmorillonite* sudah tersedia secara komersial dengan merk dagang antara lain Cloisite® [4,8,9].

Asam stearat merupakan salah satu bahan yang biasa digunakan sebagai aditif dalam proses vulkanisasi karet dengan belerang. Komposisi asamnya seperti pada maleat anhidrida dapat bereaksi dengan gugus hidroksil yang ada pada masing-masing lapisan permukaan *organoclay*. Hal tersebut dapat meningkatkan proses interkalasi molekul asam stearat ke dalam ruang antar lapisan *organoclay* [10]. Asam stearat pernah digunakan juga pada jenis *clay* yang lain, seperti *kaolinite* [11], *celtec* [12] dan *calcite* [13] untuk berbagai keperluan. Pembuatan nanokomposit dengan menggunakan *organoclay* yang telah ditambahkan asam stearat secara insitu dan eksitu pada berbagai jenis karet sintetis, yaitu *NBR*, *SBR* dan *EPDM* [14].

Maksud dari percobaan ini adalah untuk melihat pengaruh asam stearat pada pembuatan nanokomposit karet alam *organoclay* terhadap karakteristik pematangan kompon, sifat mekanik dan *swelling* dengan membandingkan antara hasil penambahan *organoclay*

sebagai bahan pengisi secara langsung ke dalam karet alam dengan penambahan *organoclay* sebagai bahan pengisi secara tidak langsung ke dalam karet alam.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Penelitian ini menggunakan *organoclay* komersial Cloisite® 15A dari *Southern Clay Products. Inc. Rockwood Additives*. Karet alam (*NR*) dipilih jenis *Thin Pale Crepe (TPC)*. Bahan kimia kompon karet digunakan ZnO, Asam stearat, Belerang dan *N-Cyclohexyl-Benzothiazole-2-Sulfenamide (CBS)* dengan *grade* teknis.

Pembuatan Nanokomposit Karet Alam-Organoclay

Pencampuran *organoclay* ke dalam karet alam dibuat dengan menggunakan metode pelelehan kompon (*melt compounding*) dalam alat *open mill*. Pembuatan nanokomposit karet alam-*organoclay* dalam percobaan ini menggunakan dua metode pencampuran *organoclay* ke dalam karet alam. Metode yang pertama adalah *organoclay* dicampurkan ke dalam karet alam secara langsung saat pengomponan tanpa didahului oleh perlakuan awal sebelum pencampuran atau disebut metode insitu. Adapun metode yang kedua adalah metode eksitu yaitu *organoclay* dicampur terlebih dahulu dengan asam stearat dalam bentuk serbuk (disebut *organoclay*-asam stearat atau S-OC), kemudian dicampurkan ke dalam karet alam saat pengomponan berlangsung. Perbandingan jumlah antara asam stearat dengan *organoclay* yang ditambahkan ke dalam karet alam pada kedua metode di atas adalah 0,5 : 1, 1 : 1 dan 1,5 : 1.

Proses pengomponan pada metode insitu dilakukan mengikuti formulasi kompon pada Tabel 1.

Sedangkan pada metode eksitu didahului dengan pembuatan campuran asam stearat dengan *organoclay* (S-OC). Pembuatan S-OC dilakukan dengan cara asam stearat dan *organoclay* digerus dengan mortar dalam cawan porselin sampai tercampur

Tabel 1. Formula pembuatan nanokomposit karet alam-*organoclay* pada metode insitu.

No	Bahan	Phr		
		Asam Stearat : <i>Organoclay</i>		
		0,5:1	1:1	1,5:1
1	Karet alam (NR)	100	100	100
2	ZnO	5	5	5
3	Asam stearat	3	6	9
4	<i>Organoclay</i>	6	6	6
5	CBS	1,5	1,5	1,5
6	Belerang	2,5	2,5	2,5

Tabel 2. Formula pembuatan nanokomposit karet alam-*organoclay* pada metode eksitu.

No	Bahan	phr		
		Asam Stearat : <i>Organoclay</i>		
		0,5:1	1:1	1,5:1
1	Karet alam (NR)	100	100	100
2	ZnO	5	5	5
3	<i>Organoclay</i> - asam stearat (S-OC)	9	12	15
4	CBS	1,5	1,5	1,5
5	Belerang	2,5	2,5	2,5

merata selama 30 menit. Hasil campuran *dioven* selama satu jam pada suhu 100 °C. Hasil campuran asam stearat-*organoclay* setelah *dioven* kemudian diangkat dan didinginkan, selanjutnya digerus kembali dengan mortar sampai halus dan disaring menggunakan saringan 200 *mesh*.

Kemudian proses pengomponan pada metode eksitu dilakukan mengikuti formulasi kompon pada Tabel 2.

Pencetakan contoh uji untuk kedua metode tersebut dilakukan dengan menggunakan alat *compression molding* pada suhu 150 °C dengan tekanan 100 kg/cm² dan waktu tertentu sesuai hasil uji rheometer. Tebal contoh uji masing-masing dibuat 2 mm.

Karakterisasi Pematangan

Karakterisasi Pematangan Kompon (*curing characteristic*, menggunakan alat rheometer MDR 2000, yang meliputi nilai torsi maksimum (S' maks), torsi minimum (S' min), waktu kematangan optimum (t₉₀), dan waktu pematangan dini (ts₂).

Sifat Mekanik Vulkanisat

Nilai kekerasan dari vulkanisat sampel uji diukur dengan bantuan alat *Shore A-Hardness Tester* yang

mengacu pada ISO 7619-04. Uji kuat tarik dan uji perpanjangan putus mengacu pada ISO 37-2005 dengan potongan uji sesuai standar setebal 2,0 ± 0,2 mm dengan kecepatan tarik pada tensometer LLOYD 2000R adalah sebesar 500mm ± 50mm/menit. Uji kuat sobek berdasarkan ISO 34-2-2007 dengan potongan uji tipe DELFT pada alat tensometer LLOYD 2000R.

Uji Swelling Vulkanisat

Uji *swelling* dilakukan dengan cara sampel dipotong dengan ukuran 2 cm x 1 cm. Sampel direndam dalam cairan toluen selama 9 jam dengan dilakukan penimbangan setiap satu jam sekali menggunakan neraca analitik dengan perhitungan seperti pada Persamaan (1):

$$\% \text{swelling} = \frac{W - W_0}{W_0} 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

W = Berat sampel setelah perendaman (gram)

W₀ = Berat sampel sebelum perendaman (gram)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pematangan

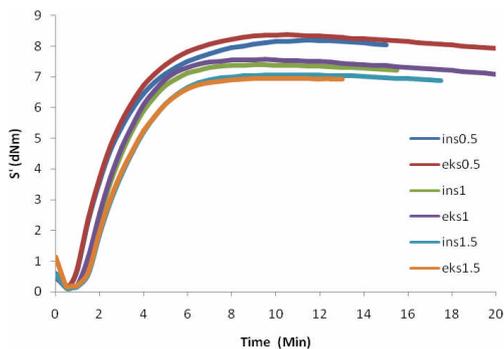
Torsi dari kompon karet alam bervariasi dengan penambahan jumlah asam stearat seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3. Torsi maksimum menurun dengan peningkatan jumlah asam stearat, sedangkan torsi minimum menurun hingga perbandingan asam stearat : *organoclay* = 1 : 1 baik pada metode insitu dan eksitu. Derajat ikatan silang (*crosslink density*) yang ditunjukkan dari perbedaan antara nilai torsi maksimum dan minimum juga menghasilkan nilai yang semakin menurun dengan penambahan asam stearat pada kedua metode tersebut.

Torsi menunjukkan kekuatan bahan (kompon) terhadap osilasi, semakin kecil selisih antara torsi maksimum dengan torsi minimum, maka semakin kecil derajat/jumlah ikatan silang (*crosslink density*)

Tabel 3. Karakteristik pematangan kompon karet dengan perbedaan metode pencampuran dan komposisi asam stearat-*organoclay*

Karakteristik Pematangan Rheometer 150 °C		Asam Stearat : <i>Organoclay</i>					
		Metode <i>Insitu</i>			Metode <i>Eksitu</i>		
		0,5:1	1:1	1,5:1	0,5:1	1:1	1,5:1
Torsi (kg/cm)	Maksimum	8,2	7,4	7,08	8,38	7,57	6,97
	Minimum	0,19	0,11	0,11	0,16	0,12	0,16
	Selisih	8,01	7,29	6,97	8,22	7,45	6,81
Waktu (menit)	t ₉₀	5:40	4:55	5:23	5:17	4:49	5:16
	t _{s2}	0:48	1:05	1:14	0:46	1:04	1:12
ILP*) (menit ⁻¹)		24,27	33,11	31,65	25,51	33,44	32,15

*) ILP = Indeks Laju Pematangan = 100/(t₉₀-t_{s2})



Gambar 1. Kurva vulkanisasi nanokomposit karet alam-*organoclay* dengan penambahan asam stearat : *organoclay* yang bervariasi pada metode insitu dan eksitu.

antara molekul karet dengan bahan pemvulkanisasi belerang.

Laju pematangan pada kedua metode ini (insitu dan eksitu) juga bervariasi dengan penambahan jumlah asam stearat. Waktu pematangan dini (t_{s2}) dari kompon karet alam menunjukkan sedikit kenaikan dengan penambahan jumlah asam stearat, sedangkan waktu vulkanisasi optimum (t_{90}) tidak menunjukkan pengaruh yang konsisten. Pada kompon karet dengan jumlah asam stearat yang sedikit (asam stearat : *organoclay* = 0,5 : 1 dan 1 : 1), waktu t_{90} dipersingkat dengan penambahan asam stearat, sehingga Indeks Laju Pematangan (ILP) yang dihitung dari nilai t_{s2} dan t_{90} meningkat. Namun waktu t_{90} bertambah pada jumlah asam stearat yang lebih banyak (asam stearat : *organoclay* = 1,5 : 1). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian lain, dimana penambahan asam stearat pada jumlah yang kecil meningkatkan ILP, sedangkan pada penambahan asam stearat pada jumlah yang besar menunjukkan hasil yang sebaliknya [15].

Variasi karakteristik pematangan kompon karet alam dengan penambahan asam stearat menegaskan fungsi dari asam stearat sebagai aktivator sekaligus sebagai *masking agent*. Peningkatan ILP pada jumlah asam stearat yang sedikit sudah diketahui sejak lama sebagai akibat dari proses percepatan pembentukan ikatan silang yang umum terjadi pada pengomponan karet akibat penambahan aktivator asam stearat [15]. Pada sisi yang lain, pada kompon karet alam dengan jumlah asam stearat yang besar, asam stearat bereaksi dengan seng oksida (ZnO) membentuk seng stearat (Zn-stearat) yang akan membatasi peranan aktivator dari ZnO pada kompon karet alam, sehingga menurunkan nilai ILP.

Tabel 4. Sifat mekanik vulkanisat dari kompon karet dengan perbedaan metode pencampuran dan komposisi asam stearat-*organoclay*

Jenis pengujian	Metode uji (ISO)	Asam Stearat : <i>Organoclay</i>					
		Metode <i>insitu</i>			Metode <i>eksitu</i>		
		0,5:1	1:1	1,5:1	0,5:1	1:1	1,5:1
Kekerasan, Shore A	7619-04	55	55	55	55	56	56
Kuat tarik, kg/cm ²	37-05	319	349	323	326	332	301
Perpanjangan putus, %	37-05	620	710	700	610	660	660
Kuat sobek, kg/cm ²	34 (2)-07	36	46	38	30	32	36

Dari Gambar 1 ditunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang nyata antara metode insitu dengan eksitu pada penggunaan komposisi asam stearat : *organoclay* yang sama, dilihat dari kurva yang relatif berdempetan antara metode eksitu dengan metode insitu pada setiap komposisi.

Sifat Mekanik Vulkanisat

Sifat mekanik dari vulkanisat nanokomposit karet alam-*organoclay* ini diperlihatkan pada Tabel 4.

Kekerasan vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* relatif tetap dengan meningkatnya dosis asam stearat, hanya terdapat sedikit kenaikan pada metode eksitu hingga pada perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1. Pada nilai kuat tarik dan perpanjangan putus, baik pada metode insitu dan eksitu, terjadi tren yang mirip dengan karakteristik pematangan, yaitu terdapat kenaikan nilai pada penambahan jumlah asam stearat pada jumlah kecil, dan terdapat penurunan nilai pada penambahan jumlah asam stearat pada jumlah besar, sehingga didapat nilai kuat tarik dan perpanjangan putus yang tertinggi pada perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1.

Kekuatan sobek vulkanisat karet alam dengan bahan pengisi *organoclay* mengalami fenomena yang sama juga pada metode insitu, namun pada metode eksitu terjadi kenaikan nilai kuat sobek dengan semakin banyaknya jumlah asam stearat yang ditambahkan.

Penambahan asam stearat hingga 3 *phr* masih dapat meningkatkan sifat mekanik vulkanisat karet alam, sedangkan penambahan 10 *phr* akan menurunkan sifat mekanik vulkanisat karet alam [15]. Peningkatan pada penambahan asam stearat yang sedikit (hingga 3 *phr*) mengindikasikan bahwa peranan utama dari asam stearat adalah untuk mengaktifkan bahan pencepat (*accelerator*) tetapi tidak untuk meningkatkan sifat mekanik. Penambahan asam stearat yang banyak hingga 10 *phr* akan sangat menurunkan sifat mekanik, yang dapat diakibatkan oleh rendahnya derajat ikatan silang yang dikarenakan hilangnya ZnO membentuk Zn-stearat atau dapat pula disebabkan oleh ketidakhomogenan pencampuran.

Secara umum sifat mekanik dari vulkanisat yang dilakukan pada penelitian ini memiliki nilai yang terbaik pada perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1 atau setara dengan 6 *phr* dalam kompon karet alam.

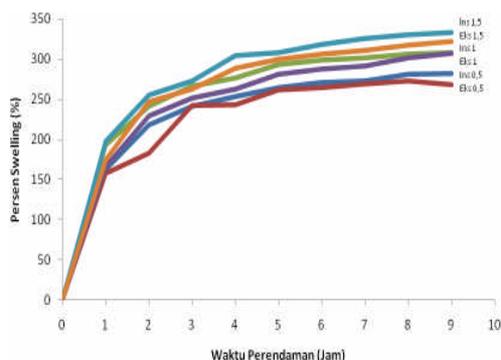
Hasil sifat mekanik yang masih memperlihatkan nilai terbaik pada penambahan lebih dari 3 phr asam stearat diperkirakan berasal dari efek penguatan dari bahan pengisi *organoclay* yang telah dimodifikasi oleh asam stearat agar lebih kompatibel dengan karet alam, melalui proses interkalasi dan eksfoliasi [14].

Uji Swelling Vulkanisat

Uji *swelling* dilakukan untuk mengetahui persentase penambahan berat sampel uji nanokomposit karet alam-*organoclay* setelah direndam dalam waktu tertentu pada larutan toluen. Hasil dari uji *swelling* dari vulkanisat nanokomposit karet alam-*organoclay* diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 tersebut terlihat bahwa pada metode insitu maupun eksitu menunjukkan semakin banyak asam stearat yang dipakai, persentase *swelling* semakin besar. Hasil ini dikarenakan penggunaan asam stearat berlebih pada penambahan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1 dan 1,5 : 1 yang menyebabkan adanya kelebihan asam stearat yang terjebak di dalam matrik karet alam yang menghalangi dispersi dari *organoclay*. Selain itu, rapat ikatan silang juga berpengaruh besar terhadap persentase *swelling*, dimana persentase *swelling* akan semakin menurun seiring dengan peningkatan rapat ikatan silang. Dengan demikian, dari hasil uji *swelling* menunjukkan bahwa penambahan asam stearat yang lebih banyak atau berlebih dapat mengurangi ikatan silang yang terbentuk antara molekul karet dengan molekul belerang.

Dari Gambar 2 tersebut juga terlihat bahwa hasil uji *swelling* nanokomposit karet alam-*organoclay* dengan metode *eksitu* cenderung memiliki prosentase *swelling* lebih kecil dibandingkan dengan hasil uji *swelling* metode *insitu*. Hal tersebut terlihat dari perbandingan asam stearat : *organoclay* dengan perbandingan yang sama, persentase *swelling* pada metode *eksitu* lebih kecil dibandingkan dengan metode *insitu*. Hal ini disebabkan pada metode *eksitu*, asam stearat sudah ditambahkan secara terpisah dengan *organoclay*, sehingga kemungkinan bereaksi ke dalam



Gambar 2. Kurva uji *swelling* nanokomposit karet alam-*organoclay* dengan penambahan asam stearat : *organoclay* yang bervariasi pada metode insitu dan eksitu.

interlayer organoclay lebih besar. Sedangkan pada metode insitu, asam stearat juga berperan lain sebagai aktivator bahan pencepat dalam proses vulkanisasi kompon karet alam.

KESIMPULAN

Derajat ikatan silang (*crosslink density*) yang ditunjukkan dari perbedaan antara nilai torsi maksimum dan minimum menghasilkan nilai yang semakin menurun dengan penambahan asam stearat pada metode insitu maupun eksitu. Hal ini diperkuat dengan hasil uji *swelling*, dimana semakin banyak asam stearat yang dipakai, persentase *swelling* semakin besar, yang berarti derajat ikatan silang semakin menurun. Penambahan asam stearat pada jumlah yang kecil (asam stearat : *organoclay* sebesar 0,5 : 1 dan 1 : 1) meningkatkan Indeks Laju Pematangan, sedangkan pada penambahan asam stearat pada jumlah yang besar (asam stearat : *organoclay* sebesar 1,5 : 1) menunjukkan hasil yang sebaliknya.

Hal ini didukung dengan hasil dari karakterisasi sifat fisik (Kekerasan, Kuat tarik, Perpanjangan putus, dan Kuat sobek), dimana sebagian besar nilainya mencapai hasil yang tertinggi pada perbandingan asam stearat : *organoclay* sebesar 1 : 1. Tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbedaan metode penambahan *organoclay* ke dalam karet secara insitu dan eksitu terhadap karakteristik pematangan kompon, namun pada hasil uji *swelling*, metode eksitu memiliki prosentase *swelling* lebih rendah dibandingkan dengan hasil uji *swelling* pada metode insitu dengan perbandingan asam stearat : *organoclay* yang sama.

DAFTAR ACUAN

- [1]. M. GALIMBERTI, *Rubber-Clay Nanocomposite, Science, Technology and Applications*, A John Willey and Sons Inc., (2011)
- [2]. A. USUKI, Y. KOJIMA, KAWASUMI, A. OKADA, Y. FUKUSHIMA, T. KURAUCHI and O. KAMIGAITO, *Journal of Materials Research*, **8**(1993) 1185-1189
- [3]. M. ARROYO, M.A. LOPEZ-MANCHADO and B. HERRERO, *Polymer*, **44**(2003) 2447-2453
- [4]. G. RAMORINO, F. BIGNOTTI, S. PANDINI and T. RICCO, *Composites Science and Technology*, **69**(2009) 1206-1211
- [5]. Z. GU, L. GAO, G. SONG, W. LIU, P. LI and C. SHAN, *Applied Clay Science*, **50**(2010) 143-147
- [6]. L. A. UTRACKI and M. R. KAMAL, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, **27**(2002) 43-67
- [7]. G. S. JEON, M. H. HAN and G. SEO, *Korean Journal Chemical Engineering*, **16**(1999) 434-440
- [8]. L. N. CARLI, C. R. RONCATO, A. ZANCHET, R. S. MAULER, M. GIOVANELA, R. N. BRANDALISE

- and J. S. CRESPO, *Applied Clay Science*, **52** (2011) 56-61
- [9]. T. P. MOHAN, J. KURIAKOSE and K. KANNY, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **17** (2011) 264-270
- [10]. A. K. DAS, W. STÖCKELHUBER, S. ROOJ, D. Y. WANG, G. HEINRICH and DRESDEN, *Rohstoffe und Anwendungen Raw Materials and Applications*, (2010)
- [11]. A. SARI and O. IPYALDAK, *Bulletin Chemical Society of Ethiopia*, **20** (2) (2006) 259-267
- [12]. A. SARI and M. SOYLAK, *Journal Serbia Chemical Society*, **72** (5) (2007) 485-494
- [13]. S. MIHAJLOVIC, Z. SEKULIC, A. DAKOVIC, D. VUCINIC, V. JOVANOVIC and J. STOJANOVIC, *Silikaty*, **53** (4) (2009) 268-275
- [14]. Y. MA, Y. P. WU, L. Q. ZHANG and Q. F. LI, *Journal of Applied Polymer Science*, **109** (2008) 1925-1934
- [15]. B. DOGADKIN and J. BENISKA, *Rubber Chemical Technology*, **31** (1958) 329
- [16]. K. YAO, J. SONG, M. D. J. HOURSTON, D. Z. LUO, *Polymer*, **43** (2002) 1017-1020