

**MINYAK BIJI KARET EPOKSI SEBAGAI BAHAN PELUNAK
UNTUK PEMBUATAN SEAL RADIATOR
EPOXIDED RUBBER SEEDS OIL AS A SOFTENER AGENT
FOR RADIATOR SEAL**

Rahmaniar, Hari Adi Prasetya

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang
rahmaniar_eeen@yahoo.co.id , hariadiprasetya@yahoo.co.id

ABSTRAK

Seal radiator merupakan salah satu bentuk diversifikasi produk barang jadi karet yang digunakan pada kendaraan bermotor. Salah satu kelemahan dari seal radiator adalah terjadinya pengerasan akibat perubahan temperatur, sehingga sifat elastisnya menurun. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya kebocoran pada tutup radiator. Minyak biji karet yang digunakan dalam pembuatan seal radiator yaitu minyak biji karet yang diepoksi. Dengan menggunakan minyak biji karet epoksi sebagai bahan pelunak dalam pembuatan seal radiator diharapkan dapat meningkatkan elastisitas terutama terhadap panas dan tekanan. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan formulasi yang tepat dalam kompon karet dengan penambahan minyak biji karet epoksi untuk pembuatan seal radiator yang memenuhi standar mutu, dan menghitung kelayakan usahanya. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 (dua) kali ulangan dan terdiri dari dua faktor. Faktor pertama bahan pelunak (P_1 : 6 phr, P_2 : 9 phr dan P_3 : 12 phr) dan faktor ke dua bahan pengisi (C_1 : 40 phr, C_2 : 50 phr dan C_3 : 60 phr). Parameter yang diuji kekerasan, modulus, *immersion in water* yaitu volume dan ketahanan sobek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi minyak biji karet epoksi dan *carbon black* serta interaksinya berpengaruh nyata terhadap parameter yang diuji. Perlakuan terbaik diperoleh pada konsentrasi minyak biji karet epoksi 9 phr, *carbon black* 40 phr, dengan karakteristik kompon karet seal radiator yaitu kekerasan 70 Shore A, modulus 90,31 kg/cm², ketahanan terhadap air untuk volume 0,36% dan ketahanan sobek 65 kg/cm. Hasil penelitian ini telah memenuhi spesifikasi pasar seal radiator (kekerasan 65 shore A, modulus 53 kg/cm², ketahanan terhadap air 1,55% dan ketahanan sobek 55 kg/cm).

Kata Kunci: Minyak biji karet epoksi, kompon karet, seal radiator

ABSTRACT

Radiator seal is one of the product diversification form of rubber goods that used in the vehicle engine. One of the weaknesses of radiator seal is the hardening process due to the temperature was change, it will make on decrease elasticity. Furthermore, the decrease of elasticity will cause of leak radiator seal. Rubber seeds oil used for forming of radiator seal is made from epoxidized rubber seeds oil. The role of epoxidized rubber seeds oil as the softener agent is to increase the elasticity which is concerning to temperature and pressure change. The objective of the research was to determine a proper formulation in the rubber compound processing by addition of rubber seeds oil epoxy to make seal radiator under the quality specification and calculation of feasibility study. The experimental design used in this study was Complete Randomized Design (CRD) with two replications and two factors. The first factor were filler materials (C_1 : 40 phr, C_2 : 50 phr and C_3 : 60 phr) and the second factor was softeners (P_1 : 6 phr, P_2 : 9 phr and P_3 : 12 phr respectively). The tested parameters were hardness, modulus , immersion in water and Tear resistance. The results showed that addition of epoxy rubber seeds oil concentration and carbon black as well as their interactions had significant effect on the tested parameters. The best parameter was found at epoxy rubber seeds at oil concentration was 9 phr and carbon black of 40 phr. The characteristic of seal radiator rubber compound were hardness 70 Shore A, modulus 90,31 kg/cm, water resistance to volume 0,36% and tear resistance 65 kg/cm. The result of this research has complied market specifications for seal radiator (hardness 65 shore A, modulus 53 kg/cm, water resistance to volume 1.55% and tear resistance 55 kg/cm).

Keyword: Epoxidized Rubber Seeds Oil, Rubber Compound, Radiator Seal.

PENDAHULUAN

Minyak biji karet tergolong minyak berwujud cair dan mempunyai sifat mudah mengering (Swern, 1979). Ditinjau dari komposisi asam lemaknya, minyak biji karet mengandung asam linolenat yang cukup tinggi (35% sampai dengan 38%). Asam linoleat adalah asam lemak tak jenuh rantai panjang (C18) yang mempunyai dua ikatan rangkap pada kedudukan atom C nya. Adanya ikatan rangkap tersebut memungkinkan terbentuknya minyak biji karet epoksi.

Minyak biji karet epoksi adalah minyak biji karet yang mengandung gugus oxiren sebagai akibat epoksidasi ikatan rangkap tak jenuh minyak biji karet dengan senyawa peroksi. Gugus oxiren adalah suatu gugus yang reaktif sehingga mudah mengalami reaksi pembukaan cincin. Epoksidasi merupakan senyawa yang mengandung tiga cincin berupa eter yang masing-masing memberi ciri tersendiri. Menurut Blackley (1983), minyak epoksi dan ester epoksi banyak digunakan sebagai bahan pelunak dan sekaligus pemantap kompon polivinilklorida (PVC).

Penelitian terhadap proses epoksidasi yang telah dilakukan adalah perbaikan tekstur karet alam melalui proses epoksidasi terhadap lateks secara langsung (Roy *et al.*, 1990, Burfield *et al.*, 2003). Kelemahan dari proses secara langsung pada lateks adalah terjadinya denaturasi protein lateks akibat dari penambahan asam H₂O₂. Selain itu, proses epoksidasi terhadap lateks langsung memerlukan pengontrolan terhadap pembentukan gugus oksiren. Pengontrolan ini diperlukan agar gugus oksiren yang telah terbentuk tidak terbuka membentuk gugus hidroksil dan gugus furan (Roy *et al.*, 1990). Modifikasi proses epoksidasi terhadap karet dilakukan secara tidak langsung pada lateks dengan menambahkan minyak yang telah mengalami epoksida ke dalam kompon karet. Keuntungan dari proses ini adalah mempermudah proses pelenturan karet dan tingkat kelenturan karet yang diinginkan dapat diatur lebih mudah dengan mengatur konsentrasi penambahan minyak terepoksi.

Senyawa epoksi merupakan produk komersial yang dapat diaplikasikan untuk beberapa kegunaan seperti pelentur (*plasticizer*), *stabilizer* dan *coating* pada resin polimer, serta merupakan anti oksidan pada pengolahan karet alam (Sinaga, 2007).

Agar dihasilkan barang jadi karet yang layak digunakan, terlebih dulu karet mentah dicampur dengan bahan kimia misalnya bahan pelunak dan bahan pengisi.

Bahan pelunak merupakan salah satu bahan kimia inti sebagai penyusun struktur molekul yang banyak digunakan dalam pembuatan kompon untuk barang jadi karet. Bahan pelunak merupakan senyawa organik yang dikenal dengan nama *peptiser*, *plasticiser* dan *softener*. Kompon karet akan mengalami pengerasan bila tidak diimbangi dengan bahan pelunak yang cukup. Pengerasan akan mengakibatkan kualitas produk barang jadi karet menurun. Bahan pelunak pada pembuatan kompon karet saat ini banyak digunakan berasal dari minyak bumi (*petroleum oil*) yaitu jenis minyak mineral seperti parafinik, naftenik dan aromatik. Bahan pelunak yang berasal dari minyak bumi mempunyai kelemahan, antara lain tidak ramah lingkungan, menyebabkan iritasi, korosif dan bersifat karsinogenik. Oleh karena itu perlu adanya alternatif penggunaan bahan pelunak yang lain yang dapat diperbarui yaitu minyak yang berasal dari bahan nabati.

Seal radiator merupakan salah satu bentuk diversifikasi produk barang jadi karet yang digunakan pada kendaraan bermotor. Dalam penggunaannya, *seal* radiator harus memiliki ketahanan terhadap panas dan tekanan. Salah satu kelemahan dari *seal* radiator adalah terjadinya pengerasan akibat perubahan temperatur, sehingga sifat elastisnya menurun. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya kebocoran pada tutup radiator.

Minyak biji karet yang digunakan dalam pembuatan *seal* radiator yaitu minyak biji karet yang telah diepoksi. Modifikasi melalui reaksi epoksidasi minyak biji karet merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan mutu minyak biji karet. Dengan menggunakan minyak biji karet epoksi sebagai bahan pelunak dalam pembuatan *seal* radiator diharapkan

dapat meningkatkan elastisitas terutama terhadap perubahan temperatur dan tekanan. Tujuan dari penelitian ini mendapatkan formulasi yang tepat dalam kompon karet dengan penambahan minyak biji karet epoksi untuk pembuatan seal radiator.

BAHAN DAN METODE

1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah vulkalent, *Natural Rubber* (NR), minyak biji karet, H_2O_2 , $CaCO_3$, sulfur, ZnO, resin amberlit IR 20, asam asetat glasial pa, *carbon black*, n-heksana, TMQ, asam stearat, DP6, CBS, cumoron resin, dan kaolin. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *open mill*, *pressing rubber*, *moulding*, *cutting scrub*, neraca analitik, alat refluks dan *peralatan gelas untuk analisis*.

2. Metode Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, percobaan menggunakan variasi bahan pelunak (minyak biji karet epoksi) dan bahan pengisi (*carbon black*). Pengujian mutu dilakukan terhadap kompon seal karet radiator. Rancangan Percobaan yang dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), 2 (dua) kali ulangan dan terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah bahan pelunak (P), yaitu : $P_1 =$

minyak biji karet epoksi 6 phr, $P_2 =$ minyak biji karet epoksi 9 phr dan $P_3 =$ minyak biji karet epoksi 12 phr. Faktor kedua adalah bahan pengisi (C), yaitu $C_1 =$ Carbon Black (N 330) 40 phr, $C_2 =$ Carbon Black (N 330) 50 phr dan $C_3 =$ Carbon Black (N 330) 60 phr.

3. Prosedur Kerja

Tahapan penelitian :

A. Proses epoksi minyak biji karet

Minyak biji karet, n-heksana 10% sebanyak 150 mL, asam asetat glasial dan resin amberlit IR-20 dipanaskan. Penambahan hidrogen peroksida ke dalam campuran dilakukan setelah suhu campuran mencapai $50^{\circ}C$. Selama penambahan hidrogen peroksida, suhu campuran dipertahankan agar tetap pada $50^{\circ}C$. Setelah itu campuran direfluks pada suhu $75^{\circ}C$ selama 10 jam. Minyak biji karet epoksi dipisahkan dari hasil epoksidasi dengan menggunakan vakum evaporator.

B. Formula Kompon Karet

Pada tahap ini dilakukan persiapan dan penimbangan bahan baku dan bahan kimia pendukung. Perlakuan komposisi sesuai dengan jumlah atau susunan dari formula kompon (Tabel 1). Jumlah dari setiap bahan dalam resep dinyatakan dalam PHR (*per hundred rubber*).

Tabel 1. Formula Kompon Karet

NO	BAHAN	FORMULA (PHR)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	NR	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.	Kaolin	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3.	CaCO ₃	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4.	Pelunak	6	6	6	9	9	9	12	12	12
5.	CB	40	50	60	40	50	60	40	50	60
6.	Cumarn r	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7.	ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8.	AS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9.	TMQ	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10	CBS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
11	DPG	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
12	Vulkalen	2	2	2	2	2	2	2	2	2
13	Sulphur	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

C. Pembuatan Kompon

Pada tahap ini dilakukan proses mastikasi atau penggilingan karet dan bahan kimia pendukung. Penggilingan tersebut menggunakan gilingan terbuka (*open mill*). Selanjutnya dilakukan proses mastikasi karet (*polymer*). Mastikasi dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

Mastikasi NR selama 10-15 menit di digiling sampai lunak. Pencampuran polymer dengan bahan kimia (pembuatan kompon karet/vulkanisasi).

Penambahan accelerator (CBS & DPG), activator (ZnO & SA), anti oksidan (TMQ) secara bersama-sama 5 menit. Penambahan cumaron resin sampai penggilingan rata/homogen. Lalu ditambahkan filler (CB, Kaolin, CaCO₃) sedikit demi sedikit 10 menit. Softener ditambahkan sedikit demi sedikit sambil terus digiling sampai tercampur homogen. Didiamkan min 4 jam, agar kompon tercampur homogen, Setelah itu kompon digiling kembali untuk dimasukan sulphur (5 menit), Didiamkan/didinginkan pada suhu 20°C s/d 25°C, setelah itu kompon dapat digunakan untuk proses vulkanisasi.

2.4. PARAMETER YANG DIAMATI

Terhadap kompon dan karet komponen kendaraan bermotor yang dihasilkan, parameter yang diuji adalah:

- Kekerasan, Shore A
- Modulus, kg/cm³
- Ketahanan terhadap air, volume (%)
- Ketahanan Sobek, kg/cm

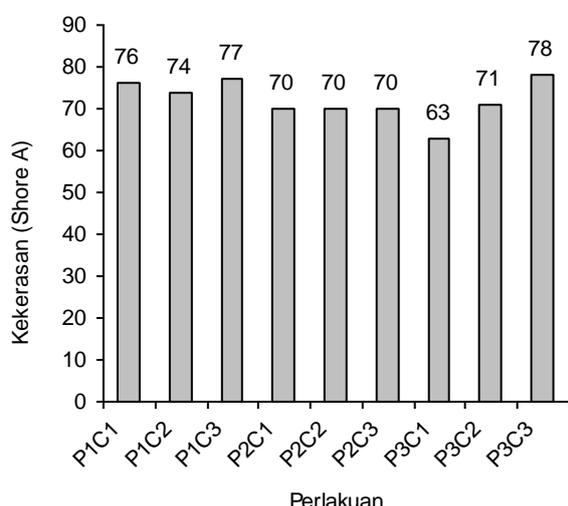
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kekerasan (*Hardness*), Shore A

Kekerasan dari vulkanisat berbeda-beda, tergantung pada jumlah bahan pengisi dan jumlah bahan pelunak yang digunakan dalam kompon (Bhuana, K.S dan Thomas, J (1994). Prinsip dari pengukuran kekerasan dengan alat shore A adalah pengukuran penetrasi dari jumlah dengan beban tetap, terhadap vulkanisat karet pada kondisi tertentu.

Hasil pengujian kekerasan seal radiator hasil penelitian minyak karet epoksi berkisar antara 63 shore A hingga 78 shore A kompon karet terendah diperoleh pada perlakuan P₃C₁ yaitu 63 dan tertinggi diperoleh pada perlakuan P₃C₃ sebesar 78. Nilai kekerasan seal radiator yg terbaik

terdapat pada perlakuan P_2C_1 (pelunak minyak biji karet 9 phr dan carbon black 40 phr). Hasil pengujian kekerasan Seal radiator dapat dilihat pada Gambar 1.



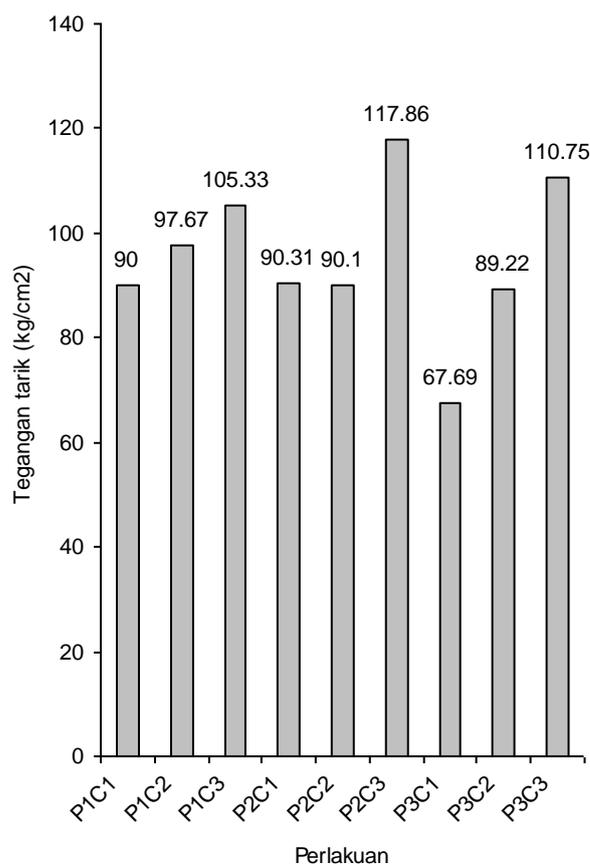
Gambar 1. Kekerasan (shore A) Seal Radiator

Semakin besar persentase bahan pelunak yang ditambahkan, maka kompon seal radiator karet akan semakin lunak. Penambahan minyak akan melunakan kompon dan akan menurunkan jumlah ikatan silang yang terbentuk (Thomas, 2003).

Kekerasan merupakan sifat yang sangat mempengaruhi penampilan dan ketahanan barang jadi karet. Pelunak dalam hal ini minyak biji karet epoksi sangat mempengaruhi kekerasan kompon seal radiator Minyak biji karet epoksi mengandung gugus oxiren sebagai akibat epoksidasi ikatan rangkap yang terdapat pada minyak biji karet. Gugus oxiren akan berikatan pada ikatan rangkap yang terdapat pada rantai poliisoprene sehingga ikatan rangkap akan putus. Dengan adanya pemutusan ikatan rangkap akan terjadi perubahan sifat fisik karet menjadi lebih elastis. Kekerasan kompon karet terjadi, karena adanya reaksi ikatan silang antara gugus aldehida pada rantai poliisoprene (1-6 per-rantai) dengan gugus aldehida terkondensasi yang ada didalam bahan bukan karet (Refrizon, 2003).

B. Tegangan tarik (Modulus 300 %), kg/cm^2 .

Tegangan tarik (modulus) merupakan besarnya beban yang diperlukan untuk meregangkan potongan uji sampai perpanjangan tertentu, dinyatakan dengan tiap cm^2 luas penampang potongan uji sebelum diregangkan (Kusnata, 1976). Modulus merupakan sifat fisika bahan jadi karet yang fungsi utamanya ukuran, struktur dan banyaknya penambahan bahan pengisi. Hasil pengujian tegangan tarik seal radiator hasil penelitian minyak karet epoksi berkisar antara $67,9 kg/cm^2$ hingga $117,86 kg/cm^2$ dan nilai terendah diperoleh pada perlakuan P_3C_1 yaitu $67,69 kg/cm^2$ dan tertinggi diperoleh pada perlakuan P_2C_3 sebesar $117,86 kg/cm^2$. Hasil pengujian Tegangan Tarik (%) Seal Radiator dapat dilihat pada Gambar 2.

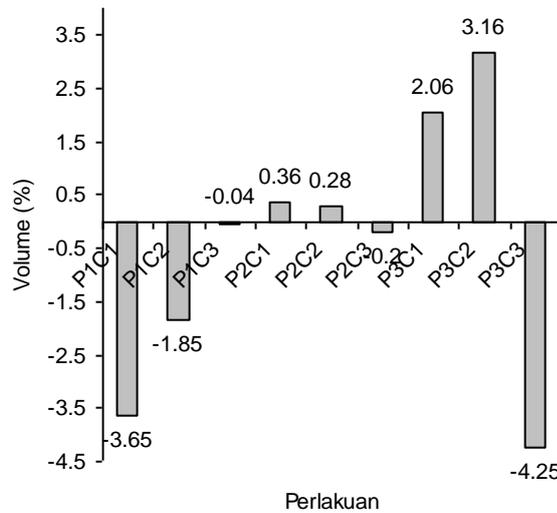


Gambar 2. Tegangan Tarik (%) Seal Radiator

Pengaruh penambahan minyak biji karet epoksi terhadap tegangan tarik (*modulus* 300%) akan menyebabkan menurunnya tegangan tarik (*modulus* 300%) dari vulkanisat. Hal ini sesuai dengan pendapat Gelling (1988) yang menyatakan bahwa modifikasi kimia yang merubah struktur ruang teratur dari molekul karet dapat menurunkan kekuatan dari karet tersebut. Tegangan tarik (*modulus* 300%) merupakan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menarik sampel sampai perpanjangan tiga kali lipat dari panjang awal (Craig, 1969). Dari variasi konsentrasi bahan pengisi, ternyata semakin banyak bahan pengisi yang ditambahkan maka nilai modulusnya semakin besar. Hal ini dikarenakan nilai tegangan tarik (*modulus*) sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, struktur dan jumlah *carbon black* yang ditambahkan. *Carbon black* dengan ukuran partikel kecil akan memberikan nilai tegangan putus tertinggi pada penambahan optimum. Makin meningkat kadar *carbon black*, makin tinggi nilai tegangan tarik yang akan dicapai.

C. Ketahanan terhadap Air (*Water Resistance*)

Ketahanan terhadap air (*water resistance*) adalah hasil proses pengujian dengan tekanan air untuk mengetahui perubahan secara volume (%). Hasil pengujian volume seal radiator yang diperoleh dari penelitian minyak karet epoksi berkisar antara -0,04 hingga 3,16. Nilai terendah diperoleh pada perlakuan P₁C₃ yaitu -0,04 dan tertinggi diperoleh pada perlakuan P₃C₂ sebesar 3,16. Perubahan volume terbaik terdapat pada perlakuan P₁C₃ karena mengalami perubahan volume yang kecil dibandingkan dengan perlakuan lain, tetapi perubahan volumenya tidak begitu signifikan jika dibandingkan dengan perlakuan P₂C₁ yaitu 0,36, dimana perbedaan persentase (0,1%). Hasil pengujian volume kompon seal radiator dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Volume (%) Seal Radiator

Perubahan volume terhadap seal radiator disebabkan oleh masuknya sebagian molekul-molekul air pada bagian molekul-molekul seal radiator yang mempunyai kerapatan massa jenis yang rendah atau permabilitas yang rendah. Permabilitas seal radiator dipengaruhi oleh kerapatan massa jenis formula kompon pembentuk seal radiator.

Penambahan karbon black ke dalam formula kompon seal radiator, akan menghasilkan kompon karet seal radiator yang mempunyai konduktivitas listrik yang lebih tinggi, dibandingkan dengan konduktivitas karet alam itu sendiri. Karet alam adalah isolator sedangkan konduktivitas dari karbon black adalah semikonduktor. Dengan adanya konduktivitas listrik memungkinkan seal radiator yang dibuat akan mempunyai kemampuan daya ikat antar molekul-molekul karet alam, bahan pelunak dan bahan pengisi lainnya yang lebih kokoh. Carbon black sebagai filler dapat mengurangi perubahan volume

Hasil analisis terhadap *Water Resistance* pada suhu $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan waktu reaksi selama 10 jam menunjukkan persentase epoksida yang terbentuk cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan semakin lama suhu reaksi maka kesempatan molekul-molekul zat pereaksi untuk saling bertumbukan membentuk ikatan kompon seal radiator semakin luas. Disamping itu ikatan rangkap yang terdapat dalam minyak biji karet semakin banyak mengalami oksidasi pembukaan ikatan rangkap.

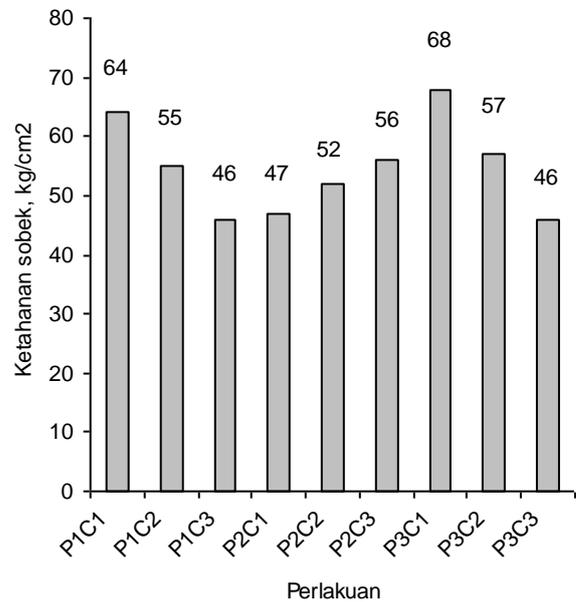
Seal radiator yang baik adalah seal radiator yang tidak mengalami perubahan volume jika dilakukan perendaman dalam air dan jika digunakan sebagai penahan uap panas pada tutup radiator. Hasil uji perubahan volume dipasaran menggunakan pelunak (minarex oil) lebih besar yaitu 1,94%, jika dibandingkan dengan yang menggunakan minyak biji karet epoksi yaitu pada perlakuan P_2C_1 volume bertambah dari volume awal mengalami kenaikan sekitar 0,36%.

D. Ketahanan Sobek (*TearResistance*, kg/cm)

Pengujian ketahanan sobek (*tear resistance*), bertujuan untuk mengetahui tenaga maksimum yang dibutuhkan untuk memutuskan potongan uji. Pengujian ini mengukur gaya atau tenaga yang dibutuhkan untuk menyobek potongan uji sampai putus. (Thomas, 2003). Nilai ketahanan sobek kompon karet yang semakin besar menunjukkan bahwa kompon karet semakin elastis. Namun demikian, nilai ketahanan sobek yang terbaik tergantung dari barang jadi karetnya.

Hasil pengujian ketahanan sobek kompon karet terendah diperoleh pada perlakuan P_1C_3 (minyak biji karet epoksi 6 phr dan *carbon black* 60 phr) dan perlakuan P_3C_3 (minyak biji karet epoksi 12 phr dan *carbon black* 60 phr) yaitu 46 kg/cm^2 . Hasil pengujian ketahanan sobek kompon seal radiator tertinggi diperoleh pada P_3C_1 (minyak biji karet epoksi 12 phr dan *carbon black* 40 phr), yaitu 68 kg/cm^2 . Hasil pengujian ketahanan sobek kompon seal radiator dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Ketahanan sobek (kg/cm^2) kompon seal radiator



IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu : Perlakuan terbaik didapat pada perlakuan P_2C_1 (pelunak minyak biji karet 9 phr dan carbon black 40 phr). Didapat hasil uji, kekerasan 70 Shore A, modulus $90,31\text{ kg/cm}$, ketahanan terhadap air untuk volume 0,36% dan ketahanan sobek 65 kg/cm .

Hasil penelitian ini telah memenuhi spesifikasi pasar seal radiator (kekerasan 65 shore A, modulus 53 kg/cm^2 , ketahanan terhadap air 1,55% dan ketahanan sobek 55).

V. DAFTAR PUSTAKA

- Blackley, D.C.1983. Synthetic Rubbers : Their Chemistry and Technology. Applied Science Publishers. London.
- Burfield. D.R., Lim, K.L., and Law, K.S. 2003. Epoxidation of Natural Rubber Latices Methods of Preparation and Properties of Modified Rubbers Journal of Applied Polymer Science, 29(5) : 1661-1673.
- Craig. 1969. Rubber Technology, A Basic Course, London

- Gelling, I.R. 1999. Chemistry Structure and Properties of Epoxidized Natural Rubber. Proceedings International Rubber Technology Conference, Penang Malaysia.
- Refrizon. 2003. Viskositas Mooney Karet Alam. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Roy, S., Gupta. B.R., and Maiti. B.R., 1990. Studies on the Epoxidation of Natural Rubber. Journal of Elastomer and Plastic, 22(4): 280-294.
- Sinaga, M.S. 2007. Pengaruh Katalis H₂SO₄ pada Reaksi Epoksidasi Metil Ester PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*). Jurnal Teknologi Proses Vol. 6(1). Hal, 70-74
- Swern, D. 1979. Bailey industrial oil and fat products. John Wiley and Sons. New York.
- Thomas, J. 2003. Disain Kompon. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.