

Magnetorheological Elastomers berbasis lateks cair sebagai matriks utama

Virel Wibawa, Ubaidillah, Wibowo

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 532163
Email korespondensi: ubaidillah_ft@staff.uns.ac.id

Abstrak

Kajian ini membahas MRE Isotropik bermatriks lateks dengan variasi fraksi massa CI particle (wt%) dan mengevaluasi karakteristik yang ditentukan, meliputi densitas, kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus dan swelling dari MRE yang dibuat dengan matriks lateks pekat yang berbeda-beda nilai perbandingan massa antara CI particle dan lateks pekat pada saat pencampuran. Komposisi MRE yang dibuat yaitu 0, 30, 40, 50, 60, 70 wt%, dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Karet Indonesia yang memiliki alat uji karet yang sudah terstandarisasi untuk pengujian nilai tarik, keras dan swelling di Indonesia. Lateks murni dengan massa jenis 0,94 gr/cm³, terjadi peningkatan lebih dari 100% dengan penambahan CI particle 40%. Peningkatan jumlah CI particle juga meningkatkan nilai keras yang semula nilai keras 35 point meningkat 15 point saat penambahan CI particle 70%. Penambahan CI particle menyebabkan penurunan hasil pengujian Tarik, terlihat saat lateks murni memperoleh hasil tegangan tarik 14,5 MPa dan perpanjangan putus mencapai 760%. Saat ditambahkan CI particle 70% tegangan putus menjadi turun mencapai 2 MPa dan perpanjangan putus 610%. Perubahan volume pada saat perendaman dengan larutan ASTM OIL 3 terlihat pada lateks murni yang mengalami penambahan volume 167,94% dan meningkat hampir 100% saat ditambahkan CI particle 70% menjadi 305,97%.

Kata kunci: nano material, kekerasan, vickers, kestabilan belok dinamik.

Abstract

This study tells about isotropic MRE with latex as the matrix, variation on the mass fraction of CI particle (wt%) and evaluate the following characteristics, such as density, hardness, break stress, elongation and swelling of the variation ratio mixture of MRE with the latex matrix. In this study use 0, 30, 40, 50, 60 and 70 wt% as the MRE composition, held in Laboratorium Pusat Penelitian Karet Indonesia which has the standardized rubber testing in yield strength, hardness and swelling in Indonesia. Pure latex with 0,94 gr/cm³ in density, improvement above 100% happens when CI particle added as much as 40%. The amount of CI particle made the rising of hardness point as much as 15 point from 35 when CI particle added as much as 70%. The add of CI particle cause a decreasing of tensile stress, it's seen when pure latex has 14,5 MPa in tensile testing and breakdown until 760%. When CI particle added as much as 70%, the break stress decrease until 2 MPa and the breakdown in 610%. Volume changes when the pure latex sink in the ASTM OIL 3 liquid, the volume increase as much as 167,94% and still increase almost 100% in 305,97% when CI particle 70% added.

Keywords: nano material, hardness, vickers, dynamic cornering stability.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki area perkebunan karet terluas di dunia, yaitu sekitar 3,40 juta ha pada tahun 2007, namun dari sisi produksi hanya berada pada posisi kedua setelah Thailand yakni 2,76 juta ton (Ditjenbun 2008). Dalam dekade mendatang, Indonesia memiliki potensi menjadi produsen karet alam terbesar di dunia. Berdasarkan studi IRSG (2007), produksi karet alam dunia pada tahun 2020 akan mencapai 13 juta ton dan Indonesia diperkirakan akan menjadi negara penghasil karet alam terbesar di dunia [1]. Untuk mengimbangi produksi karet yang sangat besar diperlukan pengembangan teknologi pemanfaatan karet untuk meningkatkan nilai jual karet salah satunya di bidang Magnetorheological (MR) material.

Magnetorheological (MR) adalah suatu bahan yang memiliki sifat mekanik dan reologi yang dapat diubah-ubah dengan cepat dan reversibel dengan memberikan suatu medan magnet [2]. MR material tersusun dari kombinasi antara matriks *nonmagnetic* dengan *magnetic particle* sebagai komponen pengisinya. MR material memiliki berbagai macam bentuk dan nama yang dibedakan berdasarkan jenis matriksnya. Penamaan MR biasanya diikuti oleh jenis matriks yang mengikat *magnetic particle*-nya. Magnetorheological Fluid (MRFs) memiliki persebaran partikel *magnetic* yang tersebar di dalam matriks berbentuk cairan [3]. MR Foam adalah salah satu jenis MR yang merupakan pengembangan bentuk dari MR *solid* yang memiliki matriks berbentuk busa, sehingga memiliki pori-pori dipermukaan materialnya [4]. Magnetorheological Elastomer (MRE) merupakan material komposit yang memiliki

matriks polimer elastomer yang didalamnya tersebar sebuah *magnetic particle*.

Magnetorheological Elastomer (MRE) memiliki sifat reologi yang dapat berubah dan kembali seperti semula karena merespon sebuah medan magnet tertentu. Sifat-sifat yang dapat diubah meliputi kekakuan (*stiffness*), redaman (*damping*), dan modulus geser (*shear modulus*) [5]. Karena sifat reologinya tersebut, MRE sekarang mulai lebih dipilih sebagai media peredam getaran yang lebih baik dibandingkan dengan MRFs.

Untuk membuat MRE harus mencampurkan *particle magnetic* seperti *Carbonyl iron particle* (CI *particle*) ke dalam matriks seperti karet silikon, karet alam [6], *polyurethane* dan karet *polybutadiene* [7]. Berdasarkan sebaran *magnetic particle* nya *Magnetorheological Elastomer* (MRE) sendiri diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *isotropic* dan *anisotropic* [8]. *Isotropic* berarti *magnetic particle*-nya menyebar secara acak, sedangkan *anisotropic* berarti *magnetic particle*-nya memiliki sebaran yang berbetuk memanjang mengikuti arah medan magnet.

Selama dua dekade terakhir, penerapan MRE sebagian besar digunakan sebagai penyerap getaran aktif [9]. Potensi aplikasi MRE sendiri sangatlah luas, contohnya dalam bidang medis, MRE diaplikasikan pada *prosthetic leg*. Potensi selanjutnya memungkinkan MRE dapat digunakan untuk struktur-struktur besar karena hal itu MRE kekakuannya dapat dikontrol dan redaman materialnya *real time* yang berpotensi dapat beroperasi di berbagai isolator seismic [10].

Sampai saat ini pembuatan MRE dengan matriks *natural rubber* masih terbatas pada penggunaan jenis matriks *solid natural rubber*, penggunaan *natural rubber* berbentuk cair sebagai matriks MRE masih belum ditemukan. Penggunaan matriks berbentuk cair memungkinkan proses fabrikasi MRE *anisotropic* dapat terjadi karena pada saat proses magnetisasi CI *particle* dapat bergeak bebas. Akan tetapi untuk membuktikan MRE dengan matriks lateks pekat dapat dibuat maka proses fabrikasi MRE akan dicoba *isotropic* terlebih dahulu. Selanjutnya perlu ditinjau terlebih dahulu bagaimana tingkat keberhasilan vulkanisasi lateks yang dicampur dengan CI *particle*. MRE yang telah berhasil dibuat juga perlu dinilai bagaimana sifat mekanik seperti massa jenis, kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus, dan *swelling*. Diharapkan kajian MRE *isotropic* dengan matriks lateks pekat ini dapat lebih memperluas penggunaan MRE yang hingga saat ini agar tidak hanya terbatas sebagai material peredam getaran saja.

Kajian ini memiliki tujuan, untuk membuat MRE *Isotropic* bermatriks lateks dengan variasi fraksi massa CI *particle* (wt%) dan mengevaluasi karakteristik yang ditentukan, meliputi densitas, kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus dan *swelling* dari MRE yang dibuat.

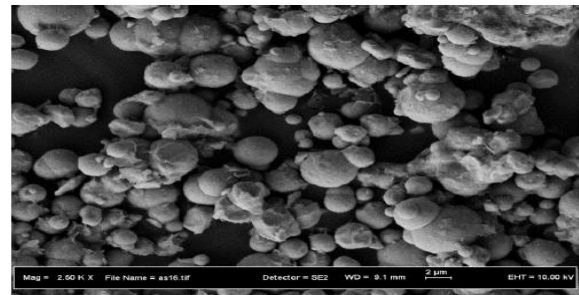
2. Metode

Kajian terhadap karakteristik fisik utama diperlukan untuk melengkapi data teknis. Proses pembuatan sampel akan dibahas lebih mendalam. Karakterisasi MRE yang akan dibahas adalah karakteristik mekanik material antara lain uji tarik, uji keras, massa jenis, dan hasil uji *swelling*.

Pembuatan MRE

Lateks yang digunakan merupakan lateks pekat dengan Kadar Karet Kering berkisar antara 50-66%. Lateks pekat yang digunakan harus melewati proses *vulkanisasi* dengan bahan *vulkanisir*. Lateks pekat dipilih sebagai alternatif baru matriks MRE selain *silicon* yang memiliki tingkat elastisitas ketahanan panas dan kedinamisan lebih baik. Karena bentuk awal material yang cair maka lateks sangat mudah untuk dibentuk menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan seperti pada penggunaan *silicon*.

Partikel yang digunakan adalah *Carbonyl Iron Particles* dengan ukuran rata-rata 5µm (Tipe CN, BASF, Germany). Dengan ukuran yang sangat kecil maka CI *particle* dalam bentuk bubuk. CI *particle* yang digunakan memiliki bentuk *spherical* (bulat), terdiri dari Fe dan C. Gambaran mikroskopik dari partikel CI *particle* dapat dilihat pada Gambar 1 yang diambil menggunakan SEM.



Gambar 1. Micrograph CI particle dengan menggunakan SEM.

Fabrikasi Sampel MRE

Dalam pembuatan *isotropic* MRE lateks tahapan awal sebelum dicampur dengan CI *particle* adalah melakukan *vulkanisasi* terhadap lateks pekat dengan bahan *vulkanisir* yang sudah didispersi terlebih dahulu. Komposisi *vulkanisir* untuk 1kg lateks pekat terdapat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Formula vulkanisir untuk 1kg lateks pekat.

Bahan	Massa (gr)
Dispersi ZMBT 50%	3
Dispersi ZDEC 50%	3
Dispersi ZNO 50%	4
Dispersi IONOL 50%	9,6
Dispersi Sulfur 50%	9
Dispersi KOH 10%	30

Setelah itu lateks pekat dicampur dengan seluruh bahan *vulkanisir* yang disebutkan pada Tabel 1 dan diaduk selama 1 jam. Setelah proses pengadukan selesai, tutup rapat lateks di wadah yang kedap udara, lalu diamkan selama 3 hari untuk menunggu proses *vulkanisasi* lateks selesai. Pencampuran lateks yang sudah divulkanisir dengan *CI particle* dilakukan secara manual yaitu diaduk menggunakan tangan. Campuran yang homogen dapat dengan mudah dihasilkan dikarenakan *CI particle* berbentuk serbuk. Komposisi MRE yang dibuat yaitu 0, 30, 40, 50, 60, 70 wt%. Formula campuran antara *CI particle* dengan lateks dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Formulasi wt% MRE lateks.

WT% MRE (%)	Lateks		CI particle		Total (gr)
	Massa (gr)	%	Massa (gr)	%	
70	16,5	30	38,5	70	55
60	22	40	33	60	55
50	27,5	50	27,5	50	55
40	33	60	22	40	55
30	38,5	70	16,5	30	55
0	55	100	0	0	55

Untuk mencapai ketebalan 1mm pada ukuran cetakan 14x14cm maka berdasarkan perhitungan *volume* maka MRE lateks dituangkan pada cetakan dengan *volume* 19,6 ml. Setelah itu MRE lateks didiamkan pada kondisi suhu ruangan dan udara terbuka selama 10-20 jam untuk mencapai kondisi kering agar MRE lateks tidak berubah posisi dan bentuknya.

Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik MRE. Adapun sifat-sifat mekanik MRE lateks yang dimaksud adalah pencarian nilai massa jenis campuran, tegangan tarik, tegangan putus, kekerasan, dan perubahan volume (*swelling*) dari material MRE dengan matriks lateks.

Densitas atau Massa Jenis Campuran

Pengujian massa jenis dilakukan dengan timbangan gantung laboratorium, buatan Perusahaan *Kern* yang berasal dari negara Jerman. Penimbangan dilakukan sebanyak 3 kali per spesimen kemudian diambil rata-rata nilai pengujian mengacu pada Standar ASTM D.297-15 Metode Hidrostatic dengan persamaan yang digunakan mencari nilai massa jenis adalah sebagai berikut:

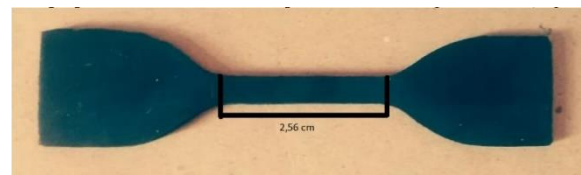
$$\rho = \frac{0.9971 \times A}{A - (B - C)} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

dimana A adalah massa spesimen di udara, B adalah massa spesimen dan pengait didalam air, dan C adalah massa pengait di dalam air.

Tegangan Tarik (Tensile Strength) dan Perpanjangan Putus (Elongation)

Sebelum dilakukan pengujian sampel dipotong dalam bentuk dumbbell seperti pada Gambar 2. Ketebalan

diukur dengan alat pengukur ketebalan digital yang diberikan beban.

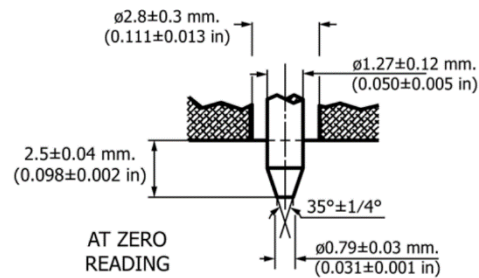


Gambar 2. Sampel siap uji [42].

Kemudian sampel akan ditarik dengan kecepatan 500mm/min sesuai dengan Standar ASTM D412 [42] dengan Tenso Meter Lloyd 2000R yang dibuat oleh perusahaan asal Inggris.

Pengujian Keras

Sampel akan dipotong terlebih dahulu, kemudian ditumpuk beberapa lapis pada alat uji. Pengujian keras dilakukan dengan Standar ASTM D2240 [42] dengan alat uji keras bernama SHORE A dengan ukuran indenter yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan pembebanan 1 kg [43], pengujian dilakukan pada 5 titik berbeda kemudian diambil hasil data terbaik dari pengujian tersebut.



Gambar 3. Indentor SHORE A [43].

Fenomena Pengembangan (Swelling)

Fenomena pengembangan (*swelling*) didefinisikan sebagai proses difusi yang terjadi pada vulkanisat karet. Sejumlah *solvent* akan terdifusi ke pori-pori karet sampai mencapai kesetimbangan [44]. Derajat *swelling* dinyatakan dalam jumlah cairan (*liquid*) yang diserap oleh polimer [45]. *Swelling Index* merupakan nilai yang menunjukkan perbandingan antara *volume* pengembangan dengan *volume* awal. *Swelling* ini bergantung dari rapat ikatan silang karet dan pelarut yang digunakan. Karet yang memiliki rapat ikatan silang tinggi akan menghasilkan *swelling* yang rendah, sebaliknya jika karet memiliki rapat ikatan silang yang rendah maka *swelling* yang di dalam pelarut menjadi tinggi. Parameter struktur dari ikatan silang merupakan berat molekul rata-rata dari ikatan silang dan ditentukan dari *swelling*. Kepadatan ikatan silang merupakan rantai jaringan elastis aktif per-satuan *volume*. Media yang digunakan pada pengujian *swelling* MRE lateks ini adalah ASTM oil 3.

$$\Delta V\% = \frac{(m_3 - m_4) - (m_2 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100\% \quad (2)$$

m_1 adalah massa spesimen mula-mula saat di udara, m_2 adalah massa mula-mula spesimen di dalam air, m_3 adalah massa spesimen di udara setelah dilakukan perendaman, dan m_4 adalah massa spesimen di air setelah perendaman.

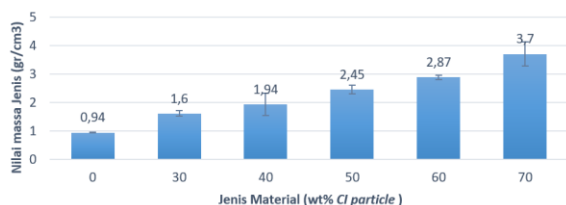
3. Hasil dan Pembahasan

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tarik, keras dan *swelling* material MRE dengan matriks lateks pekat yang berbeda-beda nilai perbandingan massa antara *CI particle* dan lateks pekat pada saat pencampuran. Kajian ini dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Karet Indonesia yang memiliki alat uji karet yang sudah terstandarisasi untuk pengujian nilai tarik, keras dan *swelling* di Indonesia.

Material spesimen dikirim ke pusat penelitian karet di Kota Bogor. Setelah dilakukan pengujian tarik dengan alat Tenso Meter LLYOLD 2000R, pengujian keras menggunakan mata SHORE A, dan pengujian *swelling* menggunakan larutan perendam ASTM OIL 3. Setelah data di dapatkan maka akan diolah untuk mendapatkan hasil yang lebih valid sebagai data perbandingan perubahan nilai massa jenis, nilai tegangan putus, tegangan tarik, kekerasan, dan nilai *swelling* dari material MRE dengan matriks lateks. Material dicetak pada wadah kaca yang dibuat khusus untuk fabrikasi uji material seperti yang ada pada Laboratorium Pusat Penelitian Karet. Hasil uji nanti akan memunculkan nilai-nilai yang dicari sehingga dapat ditentukan perbandingan komposisi terbaik *CI particle* dan lateks yang cocok untuk pengaplikasian tertentu.

Hasil Uji Nilai Massa Jenis

Berikut merupakan data hasil rata-rata pengujian massa jenis pada setiap jenis spesimen MREL yang sudah dilakukan pengujian. Berdasarkan grafik pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai densitas material MREL meningkat seiring dengan penambahan jumlah *CI particle*, densitas *CI particle* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan karet menyebabkan peningkatan nilai densitas material MREL.



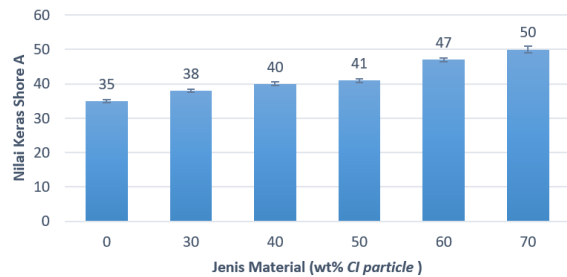
Gambar 4. Hasil rata-rata densitas MREL.

Standar normal densitas dari lateks tanpa bahan pencampur berkisar antara 0,91-0,93 gr/cm³ dan bisa lebih tinggi jika dimodifikasi dengan proses penanaman pohonnya sampai 0,98 gr/cm³ [46], hasil uji diatas didapatkan dari lateks murni tanpa *CI particle* memiliki massa jenis 0,94 gr/cm³ dimana tidak terlalu jauh dari hasil standar massa jenis lateks

murni. Sehingga kenaikan massa jenis memang disebabkan adanya tambahan *CI particle* dalam komposisi ikatan lateks tersebut.

Hasil Uji Keras

Pengujian uji keras pada karet dilakukan dengan prosedur standar ASTM D2240 yang sudah di validasi oleh Pusat Penelitian Karet Indonesia. Proses pengujian dilakukan di 5 titik berbeda dengan mata SHORE A. Pada Gambar 5, terlihat hasil rata-rata pengujian keras spesimen MRE dengan matriks lateks.



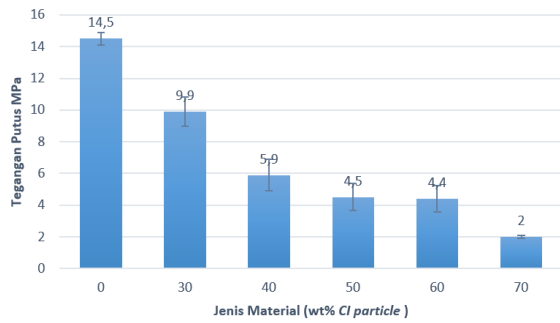
Gambar 5. Nilai kekerasan material MREL.

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh pola data bahwa semakin besar kandungan *CI particle* pada lateks maka semakin besar nilai kekerasan pada material tersebut. Hal ini sejalan dengan hasil uji dimana material dengan komposisi *CI particle* 70% memiliki hasil 50 SHORE A dan material dengan komposisi *CI particle* 30% di dalamnya memiliki hasil 38 SHORE A. Adanya pengisi tidak aktif akan meningkatkan kekerasan dan peningkatan kekerasan ini dipengaruhi oleh pemerataan penyebaran butiran [47].

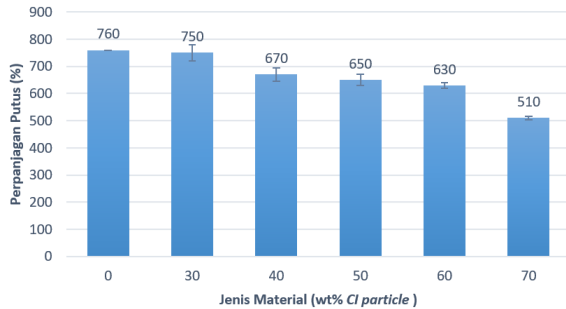
Melihat respon lateks saat dicampurkan 50% CaCO₃ yang memiliki nilai keras 46,33 [48]. Jika dibandingkan dengan campuran 50% *CI particle* yang mendapatkan nilai keras 41, maka spesimen dengan campuran *CI particle* lebih elastik. Peningkatan yang tidak terlalu signifikan antara spesimen lateks dengan *CI particle* dan lateks pekat murni membuktikan sebaran yang belum begitu merata sehingga material masih tergolong elastik.

Hasil Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan dengan prosedur standar ASTM D412 untuk mencari nilai tegangan putus dan perpanjangan putus, sebelum dilakukan pengujian material dipotong dengan mata dumbble pemotong terlebih dahulu kemudian dilakukan proses pengukuran ketebalan untuk menentukan luas dari material yang akan diuji. Akan tetapi karena ketebalan material tidak memenuhi standar penuh pengujian ASTM D412 yang mengharuskan ketebalan material minimal 2mm maka hasil pengujian ini divalidasi oleh pusat penelitian karet. Pada Gambar 6, dapat terlihat grafik penurunan nilai tegangan putus yang berbanding lurus dengan penurunan nilai perpanjangan putus yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik hasil tegangan putus uji tarik.



Gambar 7. Grafik hasil perpanjangan putus uji tarik.

Dari hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak *CI particle* yang tercampur dalam karet, maka mengurangi modulus elastisitas material lateks, akan tetapi ternyata perubahan tidak terlalu signifikan sehingga masih tergolong material yang cukup elastis. Pada saat penambahan bahan pengisi *CI particle* hanya terjadi ikatan fisika karena lateks dan *CI particle* hanya berikatan pada permukaannya saja. Peningkatan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan dapat saja menurunkan nilai tegangan putus, karena tidak semua bahan pengisi dapat berikatan dengan molekul karet [47].

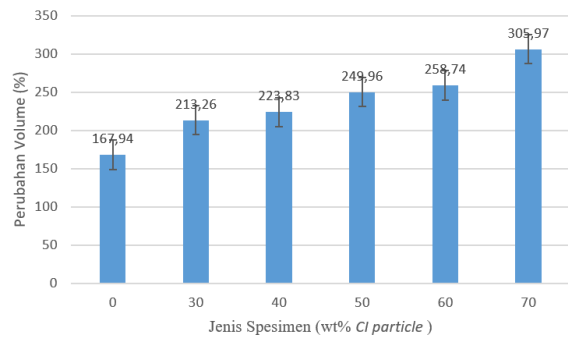
Melihat respon lateks saat dicampurkan 50% CaCO_3 didapatkan hasil tegangan putus $1,69 \text{ N/mm}^2$ dan perpanjangan putus $648,03\%$ [48] dimana jika hasil MRE Lateks dibandingkan dengan 50% *CI particle* di dalamnya, didapatkan nilai tegangan putus $4,5 \text{ N/mm}^2$ dan perpanjangan putus 628% yang berarti material MRE Lateks 50% *CI particle* lebih kuat ikatan silangnya tetapi tidak lebih elastis.

Hasil Uji Swelling

Pengujian *swelling* dilakukan dengan prosedur perendaman selama 24 jam dengan larutan rendam ASTM OIL 3 atau IRM dengan metode *test* ASTM D471-16A, grafik diagram hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8, perubahan *volume* mengalami *trend* kenaikan. Hal ini dimungkinkan karena semakin banyaknya *CI particle* yang terkandung di dalam material MRE, maka semakin rusak ikatan antar molekul karet, rusaknya ikatan antar molekul karet ini menyebabkan pori-pori partikel sebagai jalan masuk larutan untuk menerobos

ke dalam semakin banyak. Jika jumlah cairan yang masuk kedalam spesimen semakin banyak maka *volume* spesimen dipastikan akan semakin besar.



Gambar 8. Perubahan volume MREL.

Akan tetapi, pengembangan *volume* pada material dengan kandungan *CI particle* 30% ke 40% tidak mengalami perubahan *volume* yang signifikan. Hal ini dimungkinkan karena material *CI particle* tidak banyak terlarut pada saat perendaman dengan ASTM OIL, sehingga tidak menyebabkan penurunan *crosslink density* pada material MREL, sehingga memungkinkan ikatan antar molekul lateks ikut menjaga ikatan antar *CI particle*.

Ketahanan vulkanisat untuk menahan cairan masuk ke dalam dapat dilihat dari sebanyak apa campuran vulkanisat itu terlarut dalam proses perendaman, semakin banyak cairan yang masuk ke dalam maka semakin banyak ikatan molekul vulkanisat yang hancur sehingga memungkinkan cairan masuk ke pori-pori [49]. Spesimen dengan kandungan *CI particle* yang menurun terlihat mengalami penurunan pengembangan *volume*, sehingga kerapatan ikatan antar *CI particle* tersebut berhasil menghalangi perendam untuk masuk ke dalam spesimen dan menghancurkan ikatan antar molekul MREL.

Spesimen dengan *CI particle* 70% mengalami pengembangan *volume* yang sangat signifikan itu berarti ikatan antar lateks dan *CI particle* sangat lemah $305,97\%$. Berbeda dengan lateks murni tanpa ada campuran *CI particle* yang pengembangan *volume*-nya hampir setengahnya yaitu $167,94\%$ hal ini dimungkinkan karena ikatan lateks merupakan ikatan murni yang tidak memiliki banyak pori-pori.

Pada hasil uji tarik, yaitu pencarian nilai tegangan putus dan perpanjangan putus spesimen dengan *CI particle* 70% memiliki hasil yang paling rendah. Hal ini membuktikan bahwa ikatan antar molekul karet memang sudah banyak rusak karena adanya partikel *CI particle* yang terkandung didalamnya.

Persamaan ditulis dalam satu kolom di kiri (*left*) dengan disertai penomoran berurutan yang diletakkan di kanannya. Jika persamaan terlalu panjang, maka

perlu menggunakan *splitting*. Contoh penulisan Persamaan (1) adalah sebagai berikut:

$$x(t+1) = x(t) + \frac{v(t+1)}{1.3} \quad (1)$$

4. Kesimpulan

Pada pengujian untuk mencari nilai densitas, kekuatan tarik, kekerasan, dan *swelling index* ini didapatkan hasil yang sesuai dengan prediksi, dimana material yang memiliki kandungan komposisi wt% CI *particle* lebih tinggi mengalami peningkatan nilai densitas material. Lateks murni dengan massa jenis 0,94 gr/cm³ dan terjadi peningkatan lebih dari 100% hanya dengan ditambahkan CI *particle* sebanyak 40%. Peningkatan jumlah CI *particle* juga meningkatkan nilai keras yang semula lateks murni memiliki nilai keras 35 *point* meningkat 15 *point* saat ditambahkan CI *particle* sebesar 70%.

Penambahan CI *particle* menyebabkan terjadi penurunan *trend* hasil pengujian tarik. Dapat terlihat saat lateks murni memperoleh hasil tegangan tarik sebesar 14,5 MPa dan perpanjangan putus mencapai 760%. Pada saat ditambahkan CI *particle* 70% tegangan putus menjadi turun dratis mencapai 2 MPa dan perpanjangan putus 610%

Perubahan *volume* pada saat dilakukan perendaman dengan larutan ASTM OIL 3 dapat dilihat pada material lateks murni yang hanya mengalami penambahan *volume* sebanyak 167,94% dan meningkat hampir 100% saat ditambahkan CI *particle* sebanyak 70% menjadi 305,97%. Akan tetapi material MRE dengan matriks lateks tetap termasuk material yang sangat elastis, sehingga cocok dengan keadaan penggunaan material ini kedepannya.

Daftar Pustaka

- [1] I. Boerhendhy and K. Amypalupy. 2011, "Optimalisasi Produktivitas Karet Melalui Penggunaan Bahan Tanam, Pemeliharaan, Sistem Eksploitasi, dan Peremajaan Tanaman," J. Litbang Pertan., vol. 30, no. 1, pp. 23–30.
- [2] M. F. Goes, M. A. Sinhoreti, S. Consani, and M. A. Silva. 1998, "Morphological effect of the type, concentration and etching time of acid solutions on enamel and dentin surfaces.," Braz. Dent. J., vol. 9, no. 1, pp. 3–10.
- [3] V. G. Vasiliev et al. 2016, "Magnetorheological fluids based on a hyperbranched polycarbosilane matrix and iron microparticles," Smart Mater. Struct., vol. 25, no. 5, p. 0.
- [4] Q. Gong, J. Wu, X. Gong, Y. Fan, and H. Xia. 2013, "Smart polyurethane foam with magnetic field controlled modulus and anisotropic compression property," RSC Adv., vol. 3, no. 10, p. 3241.
- [5] G. J. Liao, X. L. Gong, S. H. Xuan, C. J. Kang, and L. H. Zong. 2012, "Development of a real-time tunable stiffness and damping vibration isolator based on magnetorheological elastomer," J. Intell. Mater. Syst. Struct., vol. 23, no. 1, pp. 25–33.
- [6] M. H. Ahmad Khairi et al. 2017, "The field-dependent complex modulus of magnetorheological elastomers consisting of sucrose acetate isobutyrate ester," J. Intell. Mater. Syst. Struct., vol. 28, no. 14, pp. 1993–2004.
- [7] J. S. An, S. H. Kwon, H. J. Choi, J. H. Jung, and Y. G. Kim. 2017, "Modified silane-coated carbonyl iron/natural rubber composite elastomer and its magnetorheological performance," Compos. Struct., vol. 160, pp. 1020–1026.
- [8] D. Gorman, N. Murphy, R. Ekins, and S. Jerrams. 2017, "The evaluation of the effect of strain limits on the physical properties of Magnetorheological Elastomers subjected to uniaxial and biaxial cyclic testing," Int. J. Fatigue, vol. 103, pp. 1–4.
- [9] Ubaidillah, J. Sutrisno, A. Purwanto, and S. A. Mazlan. 2015, "Recent progress on magnetorheological solids: Materials, fabrication, testing, and applications," Adv. Eng. Mater., vol. 17, no. 5, pp. 563–597.
- [10] Ubaidillah, S. A. Mazlan, J. Sutrisno, and H. Zamzuri. 2014, "Potential Applications of Magnetorheological Elastomers," Appl. Mech. Mater., vol. 663, pp. 695–699.
- [11] Ubaidillah. 2016, "Waste Tire Rubber based Magnetorheological Elastomer."
- [12] M. Lokander and B. Stenberg. 2003, "Improving the magnetorheological effect in isotropic magnetorheological rubber materials," Polym. Test., vol. 22, no. 6, pp. 677–680.
- [13] Carlson J.D. and Jolly M.R. 2000, "MR Fluid, Foam and elastomer devices," no. Mechatronics.
- [14] S. Genc and P. P. Phule. 2002, "Rheological properties of magnetorheological fluids," Smart Mater. Struct., vol. 11, no. 1, pp. 140–146.
- [15] Lanotte L., Ausanio G., Hison C., Iannotti V. and Luponio C. 2004, "State of the art and development trends of novel nanostructured elastomagnetic composites," J. Optoelectron. Adv. Mater., vol. 6, no. 2, pp. 523–532.
- [16] Song H.J., Padalka O., Wereley N.M. and Bell R.C. 2009, "Impact of nanowire versus spherical microparticles in magnetorheological elastomer composites," in 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural dynamics and materials Conference.
- [17] Semisalova A.S., Perov N.S., Stepanov G.V., Kramarenko E.Y. and Khokhlov A.R. 2013, "Strong magnetodielectric effects in magnetorheological elastomers," Soft Matter, vol. 9, no. 47.
- [18] Kchit N. and Bossis G. 2008, "Piezoresistivity of magnetorheological elastomers," J. Phys. Condens. matter An Inst. Phys. J., vol. 20, no. 20.

- [19] Li J.F., Gong X.L., Xu Z.B. and Jiang W.Q. 2008, "The effect of pre-structure process on magnetorheological elastomer performance," *Int. J. Mater. Res. (Formerly Zeitschrift Fuer Met.*, vol. 99, no. 12, pp. 1358–1364.
- [20] Woods B.K.S., Wereley N.M., Hoffmaster R. and Nersessian N. 2007, "Manufacture of Bulk Magnetorheological Elastomers using Vacuum Assisted Resin Transfer Molding," *Int. J. Mod. Phys. B*, vol. 21, no. 28, pp. 5010–5017.
- [21] Li W.H. and Zhang X.Z. 2008, "Research and Applications of MR Elastomers," *Recent Patents Mech. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 161–166.
- [22] Xu Z.B., Gong X.L., Liao G.J. and Chen X.M. 2010, "An Active-damping-compensated Magnetorheological Elastomer Adaptive Tuned Vibration Absorber," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 21, no. 10, pp. 1039–1047.
- [23] Lerner A.M.A. and Cunefare K.A. 2007, "Performance of MRE-based Vibration Absorbers," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 19, no. 5, pp. 551–563.
- [24] Liao G.J., Gong X.L., Kang C.J. and Xuan S.H. 2011, "The design of an active-adaptive tuned vibration absorber based on magnetorheological elastomer and its vibration attenuation performance," *Smart Mater. Struct.*, vol. 20, no. 7.
- [25] Hoang N., Zhang N. and Du H. 2010, "A Dual Adaptive Tunable Vibration Absorber using MREs for Vehicle Powertrain Vibration Control," *Act. Passiv. Smart Struct. Integr. Syst.*
- [26] Li W.H., Zhang X.Z. and Du H. 2012, "Development and simulation evaluation of a magnetorheological elastomer isolator for seat vibration control," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 23, no. 9, pp. 1041–1048.
- [27] A. R. Badolato and R. P. Pawlowski. 2003, "Tunable Slip Yoke Damper Assembly," U.S. Patent 006623364B2.
- [28] J. . Watson. 1997, "Method and Apparatus for Varying the Stiffness of a Suspension Bushing," US Patent 005609353A.
- [29] P. Rodenbeck. 2012, "Active Magneto-Rheological Spring Assemblies and VehicleActive Magneto-Rheological Spring Assemblies and Vehicle," U.S. Patent 8210547B2.
- [30] P. Marur. 2013, "Magneto-rheological Elastomer-based Vehicle Suspension," U.S. Patent 2013/0087985A1.
- [31] A. Hitchcock, G.H.Gordaninejad, F. Fuchs. 2006, "Controllable Magneto-Rheological Elastomer Vibration Isolator," U.S. Patent 7086507B2.
- [32] S. . Naganathan, G. Vieira. 2004, "Actively Controlled Impact Elements," U.S. Patent 2004/0126565A1.
- [33] Carlson J.D., Matthis W. and Toscano J.R. 2001, "Smart Prosthetics Based on Magnetorheological Fluids," in *Smart Structures and Materials: Active Materials: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies*.
- [34] C. Thorsteinsson, F. Gudmundsson, I. Lecomte. 2013, "Prosthetic and Orthotic Devices Having Magnetorheological Elastomer Spring with Controllable Stiffness," U.S. Patent 2013/0060349A1.
- [35] I. Guðmundsson. 2011, "A Feasibility Study of Magnetorheological Elastomers for a Potential Application in Prosthetic Devices," University of Iceland.
- [36] Ghafoorianfar N., Wang X.J. and Gordaninejad F. 2013, "On the sensing of magnetorheological elastomers," in *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical and Aerospace System*.
- [37] Zhou G.Y. and Wang Q. 2005, "Use of Magnetorheological Elastomer for Smart Piezoelectric Power Actuator Design and Signal Processing," in *Smart Structures and Materials: Smart Structures and Integrated Systems*.
- [38] Li W.H., Kostidis K. and Zhou Y. 2009, "Development of a force sensor working with MR elastomers," in *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*.
- [39] Du G.T. and Chen X.D. 2012, "MEMS magnetometer based on magnetorheological elastomer," *measurement*, vol. 45, no. 1, pp. 54–58.
- [40] Nguyen V.Q., Ahmed A.S. and Ramanujan R.V. 2012, "Morphing soft magnetic composites," *Adv. Mater.*, vol. 24, no. 30, pp. 4041–4054.
- [41] P. P. Karet. 2014, "PEMEKATAN LATEKS KEBUN SECARA CEPAT DENGAN RAPID Concentration of Field Latex by Low Speed Centrifugation Process," vol. 32, no. 2, pp. 181–188.
- [42] S. Bhaktha, S. Hegde, U. Rao Sathish, and N. Gandhi. 2018, "Investigation of tensile properties of RTV Silicone based Isotropic Magnetorheological," *MATEC Web Conf.*, vol. 144.
- [43] ASTM. 2015, "D2240 Rubber Property—Durometer Hardness," pp. 1–13.
- [44] I. N. Indrajati, I. R. Dewi, and D. Irwanto. 2012, "Pengaruh variasi rasio HAF/SRF terhadap sifat vulkanisat NBR," *Maj. Kulit, Karet, dan Plast.*, vol. 28, no. 2, pp. 59–68.
- [45] M. Abu-Abdeen and I. Elamer. 2010, "Mechanical and swelling properties of thermoplastic elastomer blends," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 2, pp. 808–815.
- [46] M. S. Siregar, "PRODUK PENCANGKOKAN ANHIDRID MALEAT PADA KARET ALAM SIKLIS DI DALAM PENCAMPUR INTERNAL: SIFAT FISIKA DAN KOMPATIBELTAS DENGAN POLIAMIDA," vol. 19, no. 2.

- [47] D. Daud. 2015, "Kaolin sebagai Bahan Pengisi pada Pembuatan Kompon Karet: Pengaruh Ukuran dan Jumlah terhadap Sifat Mekanik Fisik.," J. Din. Penelit. Ind., vol. 26, no. 1, pp. 41–48.
- [48] I. R. Dewi and Herminiwati. 2014, "Lateks Karet Alam untuk Sol Sepatu : Metode Pembuatan, Sifat Mekanik, dan Morfologi," pp. 61–70.
- [49] N. A. Kinasih and M. I. Fathurrohman. 2016, "Ketahanan n-pentana dan sifat mekanis vulkanisat karet perapat dari campuran karet alam / akrilonitril-butadiena dengan kompatibiliser," vol. 32, no. 2, pp. 99–110.