



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PENGARUH *BUTYL ACRYLATE* TERHADAP SIFAT
DINAMIS MEKANIS DAN TEMPERATUR GELAS TRANSISI
PADA KARET SILIKON SEBAGAI BAHAN *MIDSOLE* SEPATU**

TUGAS AKHIR

GHOZI ASADASIA MAHARDHIKA

L2E 006 046

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

SEMARANG

JULI 2011

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Ghazi Asadasia Mahardhika
NIM : L2E 006 046

Dosen Pembimbing : Dr. Ing. Ir. A. P. Bayuseno, MSc

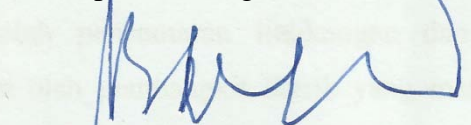
Jangka Waktu : Sembilan (9) bulan.

Judul : Analisis pengaruh *butyl acrylate* terhadap sifat dinamis mekanis dan temperatur gelas transisi pada karet silikon sebagai bahan *midsole* sepatu.

Isi Tugas : Pengujian kompresif dinamis termal pada material karet silikon murni dan karet silikon yang dicampur *butyl acrylate* guna mengetahui respon material terhadap tegangan sinusoidal, sehingga dapat diketahui pengaruh *butyl acrylate* terhadap karakteristik dinamis mekanis dan nilai temperatur gelas transisi karet silikon.

Semarang, 29 September 2010

Dosen pembimbing



Dr. Ing. Ir. A.P. Bayuseno, MSc

NIP. 196205201989021001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Desertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ghozi Asadasia Mahardhika

NIM : L2E006046

Tanda Tangan :



Tanggal : Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

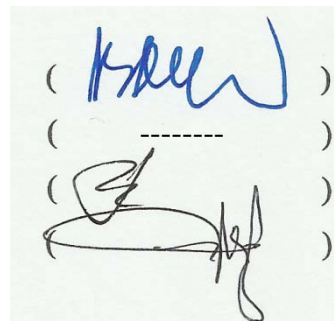
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ghazi Asadasia Mahardhika
NIM : L2E006046
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis *Butyl Acrylate* Terhadap Sifat Dinamis Mekanis Dan Temperatur Gelas Transisi Pada Karet Silikon Sebagai Bahan *Midsole* Sepatu

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

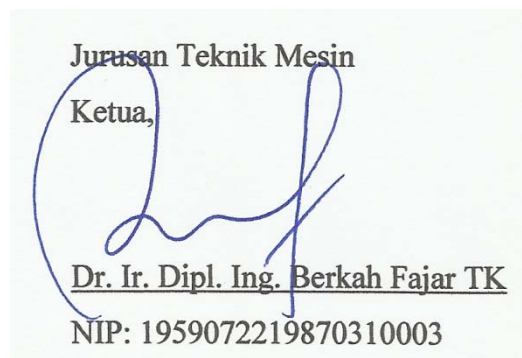
TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ing. Ir. A. P. Bayuseno, MSc
Penguji : Ir. Arijanto, MT
Penguji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT
Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST, MT



(*[Signature]*)
(-----)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

Semarang, Juli 2011



Jurusan Teknik Mesin
Ketua,
[Signature]
Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK
NIP: 1959072219870310003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : GHOZI ASADASIA MAHARDHIKA
NIM : L2E006046
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Pengaruh *Butyl Acrylate* Terhadap Sifat Dinamis Mekanis Dan Temperatur Gelas Transisi Pada Karet Silikon Sebagai Bahan *Midsole* Sepatu

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta beserta Dr. Ing. Ir. A. P. Bayuseno, MSc selaku pembimbing tugas akhir saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Juli 2011

Yang menyatakan



Ghozi Asadasia Mahardhika
NIM: L2E006046

ABSTRAK

Penggunaan *polymer transducer* sebagai *midsole* mempunyai banyak kelebihan, salah satunya adalah kemampuannya sebagai generator dengan mengubah energi mekanis dari berat tubuh menjadi energi listrik. Salah satu komponen penting dari *polymer transducer* ini adalah elastomer atau yang lebih dikenal dengan *dielectric elastomer*. Kebanyakan material *dielectric elastomer* adalah akrilik elastomer dan karet silikon. Dalam penelitian ini digunakan karet silikon yang disintesis dengan salah satu komponen akrilik elastomer, yaitu *butyl acrylate*. Sehingga diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui pengaruh *butyl acrylate* terhadap karakteristik karet silikon.

Penelitian ini dilakukan melalui kerja tim, yaitu dengan membagi penelitian dengan tiga pembahasan. Ketiga pembahasan tersebut antara lain pembahasan tentang perbandingan karakteristik karet silikon murni dengan karet silikon yang telah disintesis dengan *butyl acrylate* melalui uji statis, uji dinamis termal, serta proses perlakuan panas sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya.

Penelitian ini akan membahas tentang sifat material pada saat diterapkan tegangan sinusoidal dengan memvariasikan frekuensi dan temperatur. Frekuensi yang digunakan sesuai dengan frekuensi orang berjalan hingga berlari, yaitu 1.6 Hz hingga 3.5 Hz. Sedang temperatur yang digunakan mulai dari -40.9°C hingga 57.8°C .

Hasil menunjukkan bahwa *butyl acrylate* dapat menurunkan temperatur gelas transisi karet silikon dari 35.924°C menjadi 12.818°C . Selain itu juga *butyl acrylate* juga berpengaruh pada penurunan tingkat kekakuan karet silikon dari 1.56958×10^5 Pa menjadi 6.6786×10^4 Pa pada frekuensi 1.6 Hz, 1.68708×10^5 menjadi 6.1106×10^4 pada frekuensi 2.4 Hz, dan 1.70835×10^5 menjadi 6.3126×10^4 pada frekuensi 3.5 Hz. Nilai *specific loss* energi karet silikon juga turun dengan adanya penambahan *butyl acrylate*, yaitu 0.18047 menjadi 0,160206 pada frekuensi 1.6 Hz, 0.190363 menjadi 0.18548 pada frekuensi 2.4 Hz, dan 0.197235 menjadi 0.199546.

Keywords: Dielectric Elastomer; Storage Modulus; Loss modulus; Dynamic Mechanical Thermal Analysis.

ABSTRACT

The use of polymer transducer as a midsole has many advantages, one of them is ability as a generator by converting mechanical energy from body weight into electrical energy. The important component of material is elastomer or better known as dielectric elastomers. Most of dielectric elastomer material is acrylic elastomer and silicone rubber. This study used the synthesized silicone rubber with one of component acrylic elastomer, namely butyl acrylate. So expect this research can get the influence of butyl acrylate on the characteristics of silicone rubber.

The research was done through teamwork, by dividing the study with three discussions. Third discussion include a discussion of the comparative characteristics of silicone rubber with a silicone rubber which has been synthesized with butyl acrylate through static testing, dynamic thermal analysis, and heat treatment process to improve its mechanical properties.

This research will discuss about the material properties which is applied with sinusoidal stress with varying frequency and temperature. Frequencies used in accordance with the frequency of people walking to running, ie 1.6 Hz up to 3.5 Hz. Temperatures are used ranging from -40.9 °C to 57.8 °C.

The results showed that the butyl acrylate can reduce the glass transition temperature of silicone rubber from 35.924 °C to be 12.818 °C. In addition, butyl acrylate also affects reducing stiffness levels of silicone rubber from 1.56958×10^5 Pa to 6.6786×10^4 Pa at a frequency of 1.6 Hz, 1.68708×10^5 to 6.1106×10^4 at a frequency of 2.4 Hz, and 1.70835×10^5 to 6.3126×10^4 at a frequency 3.5 Hz. Specific loss value of energy silicone rubber was also reduce with the addition of butyl acrylate, which is 0.18047 to 0.160206 at 1.6 Hz, 0.190363 to 0.18548 at 2.4 Hz, and 0.197235 to 0.199546 at 3.5 Hz.

Keywords: Dielectric Elastomer; Storage Modulus; Loss modulus; Dynamic Mechanical Thermal Analysis

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

"Jadilah pendengar yang baik, dengan kita mendengar akan membuat kita lebih mengerti karena kita akan selalu melihat permasalahan bukan dari sudut pandang kita, melainkan dari sudut pandang orang lain"

"Tugas akhir ini saya persembahkan untuk mahasiswa yang di kemudian hari nanti melanjutkan penelitian saya dan menggunakan data-data saya sebagai referensi untuk perbaikan dari penelitian ini sehingga bisa didapatkan hasil yang jauh lebih baik dari penelitian saya"

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang atas berkah dan ridho-Nya, saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya dan rasa hormat saya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Ing. Ir. A. P. Bayuseno, MSc selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya, ayahanda Achmad dan ibunda Djauharoh Sulistya Wulan, yang telah memberikan dukungan, semangat, doa yang tulus ikhlas, dan kepercayaan kepada saya untuk mengemban amanah yang mulia ini. Mohon maaf, saya belum bisa membanggakan anda dengan prestasi saya.
3. Mas Roni Sujarwadi '02 dan teman-teman seangkatan 2006 serta semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, saya menyadari kekurangan dan keterbatasan kemampuan saya dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini sehingga Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, karena itu saya sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan saya untuk masa depan yang lebih baik.

Semarang, Juni 2011

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Alasan Pemilihan Judul	2
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metode Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II Dasar teori	7
2.1 <i>Midsole</i> Sepatu.....	7
2.2 Polimer.....	8
2.3 Elastomer	11
2.3.1 Tipe Elastomer	12
2.4 Elektroaktif Polimer (EAP)	13
2.4.1 <i>Dielectric Elastomer</i>	17
2.5 <i>Silicone Rubber</i>	18
2.6 <i>Butyl Acrylate</i>	20

2.7 Karakterisasi <i>Dielectric Elastomer</i>	21
2.8 <i>Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA)</i>	22
2.8.1 Tipe Analisis	24
2.8.2 Metode Uji	25
2.9 Efek Frekuensi terhadap Sifat Elastomer.....	26
2.10 Efek Temperatur terhadap Sifat Dinamik Elastomer	26
2.11 Karakteristik Elastomer	28
2.11.1 Viskoelastisitas	28
2.11.2 Sifat Dinamis Elastomer	38
2.11.3 Histeresis	41
BAB III METODE PENELITIAN	43
3.1 Diagram Alir Penelitian	43
3.2 Peralatan yang Digunakan	45
3.3 Pembuatan Spesimen	48
3.4 Pengujian DMTA.....	48
3.5 Proses <i>Screening</i> Spesimen	51
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengujian Kompresif Dinamis Termal	53
4.1.1 Metode <i>Dynamic Temperature Ramp</i>	53
4.1.2 Metode <i>Dynamic Frequency Sweep</i>	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Otot Alami dan Teknologi Aktuator Buatan Manusia	2
Tabel 2.1 Standar Mutu Sol Sepatu Secara Umum.....	8
Tabel 2.2 Data-Data Fisik <i>Electroactive Polymer</i>	18
Tabel 3.1 Parameter Pengujian	52
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tg	55
Tabel 4.2 Perbandingan Nilai E', E'', dan Tan δ	60
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Modulus Kompleks	61
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Viskositas Kompleks	61
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Energi Tersimpan, Energi Hilang, dan <i>Spesific Loss</i>	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Otot alami vs. DE	3
Gambar 2.1 Skema aplikasi <i>dielectric elastomer</i> sebagai <i>midsole</i>	7
Gambar 2.2 Perkembangan polimer	9
Gambar 2.3 Hubungan: a) linier; b) bercabang; c) <i>crosslinked</i> ; d) tiga dimensi (<i>network</i>)	10
Gambar 2.4 Jenis-jenis polimer	10
Gambar 2.5 Hubungan silang pada deformasi elastis	11
Gambar 2.6 Struktur <i>polyvinylidene flouride</i>	14
Gambar 2.7 <i>Electrostrictive graft polymer</i>	15
Gambar 2.8 <i>Ionic</i> polimer metal komposit	16
Gambar 2.9 Mekanisme aktuasi DES	17
Gambar 2.10 Struktur dan rantai karet silikon	19
Gambar 2.11 Perbandingan berbagai macam karet	20
Gambar 2.12 Struktur polimer pada saat dikenai tegangan	21
Gambar 2.13 Gambaran umum peralatan DMTA.....	23
Gambar 2.14 Gerak torsional v gerak <i>axial</i>	25
Gambar 2.15 Efek regangan dinamis geser pada NBR.....	26
Gambar 2.16 Perubahan kekakuan dan struktur polimer termoplastik akibat kenaikan temperatur.....	27
Gambar 2.17 Struktur rantai molekul karet di bawah dan di atas temperatur gelas transisi.....	28
Gambar 2.18 Model viskoelastis sederhana.....	30
Gambar 2.19 Hubungan antara gaya dan perpindahan pada pegas.....	30
Gambar 2.20 Hubungan antara gaya dan perpindahan pada <i>dashpot</i>	31
Gambar 2.21 Efek ketergantungan waktu pada kombinasi <i>spring</i> dan <i>dashpot</i>	32
Gambar 2.22 Efek gelombang sinus pada pegas.....	33
Gambar 2.23 Efek gelombang sinus pada <i>dashpot</i>	34
Gambar 2.24 Efek gelombang sinus pada kombinasi pegas/ <i>dashpot</i>	35
Gambar 2.25 Hubungan antara kekakuan dinamis, viskos, dan elastis	36

Gambar 2.26 Pengukuran kekakuan dinamis dan sudut fasa.....	36
Gambar 2.27 Definisi $\tan \delta$	37
Gambar 2.28 Ilustrasi energi tersimpan dan energi yang hilang	41
Gambar 2.29 Rugi energi per siklus berdasar kurva tegangan-regangan	42
Gambar 2.30 Histeresis <i>loop</i> pada uji kompresif material SBR	42
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 3.2 Cetakan spesimen.....	46
Gambar 3.3 Timbangan digital	46
Gambar 3.4 DMTA dan nitrogen.....	47
Gambar 3.5 <i>Grip</i> untuk memegang spesimen.....	49
Gambar 3.6 Hasil <i>screening</i>	51
Gambar 4.1 Grafik hasil metode A pada karet silikon murni	54
Gambar 4.2 Grafik hasil metode A pada karet silikon murni + <i>butyl acrylate</i>	55
Gambar 4.3 Perbandingan nilai <i>storage modulus</i>	57
Gambar 4.4 Perbandingan nilai <i>loss modulus</i>	58
Gambar 4.5 Perbandingan nilai $\tan \delta$	59
Gambar 4.6 Grafik pengaruh frekuensi terhadap sifat material karet silikon murni	62
Gambar 4.7 Grafik pengaruh frekuensi terhadap sifat material karet silikon + <i>butyl acrylate</i>	62

NOMENKLATUR

σ_0	=	Tegangan amplitudo (N/m ²)
ε_0	=	Regangan amplitudo (%)
E	=	Modulus kompleks (Pa)
η	=	Viskositas kompleks (Pa sec)
δ	=	Sudut fasa (°)
ω	=	Frekuensi <i>angular</i> (Hz)
E'	=	<i>Storage modulus</i> (Pa)
E''	=	<i>Loss modulus</i> (Pa)
ζ_s	=	<i>Storage energy</i> (J/m ³)
ζ_d	=	<i>Dissipated energy</i> (J/m ³)