

**ANALISIS PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT KARET ALAM
DENGAN PENAMBAHAN VARIASI UKURAN BUTIR
CARBON BLACK PENGARUHNYA TERHADAP
KOEFSIEN KONDUKTIVITAS TERMAL**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ANENG WICAKSONO
NIM. 0210620014

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG**

2007

**ANALISIS PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT KARET ALAM
DENGAN PENAMBAHAN VARIASI UKURAN BUTIR
CARBON BLACK PENGARUHNYA TERHADAP
KOEFSIEN KONDUKTIVITAS TERMAL**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

**ANENG WICAKSONO
NIM. 0210620014**

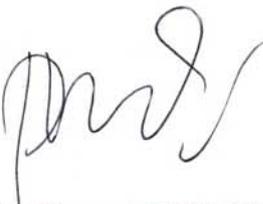
DOSEN PEMBIMBING I



Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT.

NIP. 130 531 861

DOSEN PEMBIMBING II



Putu Hadi Setyarini, ST. MT.

NIP. 132 304 301

**ANALISIS PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT KARET ALAM
DENGAN PENAMBAHAN VARIASI UKURAN BUTIR
CARBON BLACK PENGARUHNYA TERHADAP
KOEFSIEN KONDUKTIVITAS TERMAL**

Disusun oleh :

ANENG WICAKSONO
NIM. 0210620014

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 31 Juli 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1



Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph. D.
NIP. 131 286 308

Skripsi 2

23/8'07.



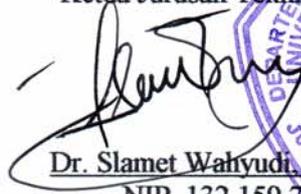
Ir. Bambang Indrayadi, MT
NIP. 131 653 469

Komprehensif



Ir. Djoko Sutikno, M. Eng.
NIP. 131 276 249

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT
NIP. 132 159 708



KATA PENGANTAR

Puji syukur paling tulus terucap kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-NYA kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Atas segala bantuan dan semangat yang telah diberikan, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT., selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST. MT., selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Ir. Djarot B Darmadi, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi
6. Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang banyak membantu kelancaran dalam urusan administrasi
7. Tacik dan Karyawan Pt. New World di Lawang, keluarga besar mbak Indah di Singosari, keluarga besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Keluargaku tercinta yang telah memberikan dorongan dan semangat serta selalu mendo'akanku. Keluarga besar Simpang Gajayana 53 Malang, Keluarga besar MT. Haryono 157, dan Mayjen Panjaitan 185 Malang.
9. Andrian S. Januartha selaku teman seperjuangan dalam penyelesaian skripsi.
10. Seluruh teman-teman dan semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya Mesin angkatan 2002 yang telah membantu dan berpartisipasi dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini tentunya ada kekurangan, maka diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Juli 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar i

Daftar Isi ii

Daftar Gambar iv

Daftar Tabel v

Daftar Lampiran..... vi

Daftar Simbol..... vii

Ringkasan..... viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah 1

1.2. Rumusan Masalah..... 3

1.3. Batasan Masalah 3

1.4. Tujuan Penelitian 3

1.5. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang pernah dilakukan 4

2.2. Komposit..... 4

2.3. Klasifikasi Material Komposit..... 6

 2.3.1. Komposit berpenguat serat (*fibre reinforced composite*) 6

 2.3.2. Komposit berpenguat partikel (*particulate reinforced composite*)..... 7

2.4. Matriks 7

2.5. Polimer..... 8

 2.5.1. *Rubber*..... 10

 2.5.1.1. Karet alam..... 11

 2.5.1.1.1. Karet *sheet* 12

 2.5.1.2. Karet sintesis..... 13

2.6. Karakteristik Polimer 13

 2.6.1. Massa jenis..... 14

 2.6.2. Koefisien konduktivitas termal 15

2.7. *Filler* (Pengisi) 17

 2.7.1. *Carbon black*..... 17

2.8. Teori Penguatan Komposit 18

2.9. Metode Pembuatan Komposit.....	19
2.10. Hipotesis	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian	20
3.2. Variabel Penelitian.....	20
3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan	20
3.3.1. Alat yang digunakan	20
3.3.2. Bahan yang digunakan.....	22
3.4. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.5. Prosedur Pembuatan Spesimen Komposit	23
3.6. Metode Pengujian Koefisien Konduktivitas Termal	23
3.7. Rancangan Penelitian.....	25
3.7.1. Analisa Varian Satu Arah	25
3.7.2. Analisa Statistik	27
3.8. Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji koefisien konduktivitas termal.....	30
4.1.1. Data hasil pengujian koefisien konduktivitas termal.....	30
4.2.2. Analisa varian koefisien konduktivitas termal.....	31
4.2.3. Analisa statistik koefisien konduktivitas termal	33
4.2. Grafik dan pembahasan	34
4.2.1. Analisa pengaruh ukuran butir <i>carbon black</i> terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam.....	34

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

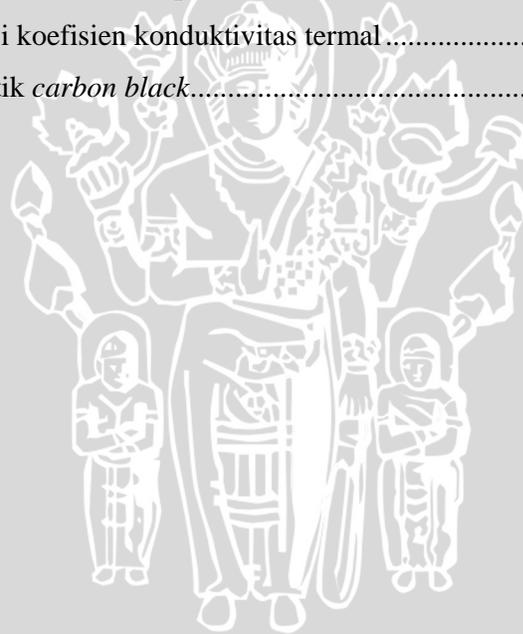
5.1. Kesimpulan	38
5.2. Saran	38

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Klasifikasi Material Komposit.....	5
Gambar 2.2 : Klasifikasi penguatan material komposit.....	6
Gambar 2.3 : Klasifikasi Polimer Sebagai Matrik Komposit	9
Gambar 3.1 : Mesin <i>Rubber mill</i>	21
Gambar 3.2 : Alat tekan manual dengan pemanas.....	21
Gambar 3.3 : <i>Thermal conductivity measuring apparatus</i>	22
Gambar 3.4 : Instalasi uji koefisien konduktivitas termal	24
Gambar 3.5 : Spesimen uji koefisien konduktivitas termal	25
Gambar 3.6 : Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1 : Grafik pengaruh ukuran butir <i>carbon black</i> terhadap koefisien konduktivitas termal komposit karet alam	35
Gambar 4.2 : Material uji koefisien konduktivitas termal	36
Gambar 4.3 : Karakteristik <i>carbon black</i>	36



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Koefisien konduktivitas termal beberapa jenis karet..... 16

Tabel 2.2 : Tipe – tipe *carbon black*..... 17

Tabel 2.3 : Sifat - sifat fisik *carbon black* 18

Tabel 3.1 : Dimensi spesimen uji..... 25

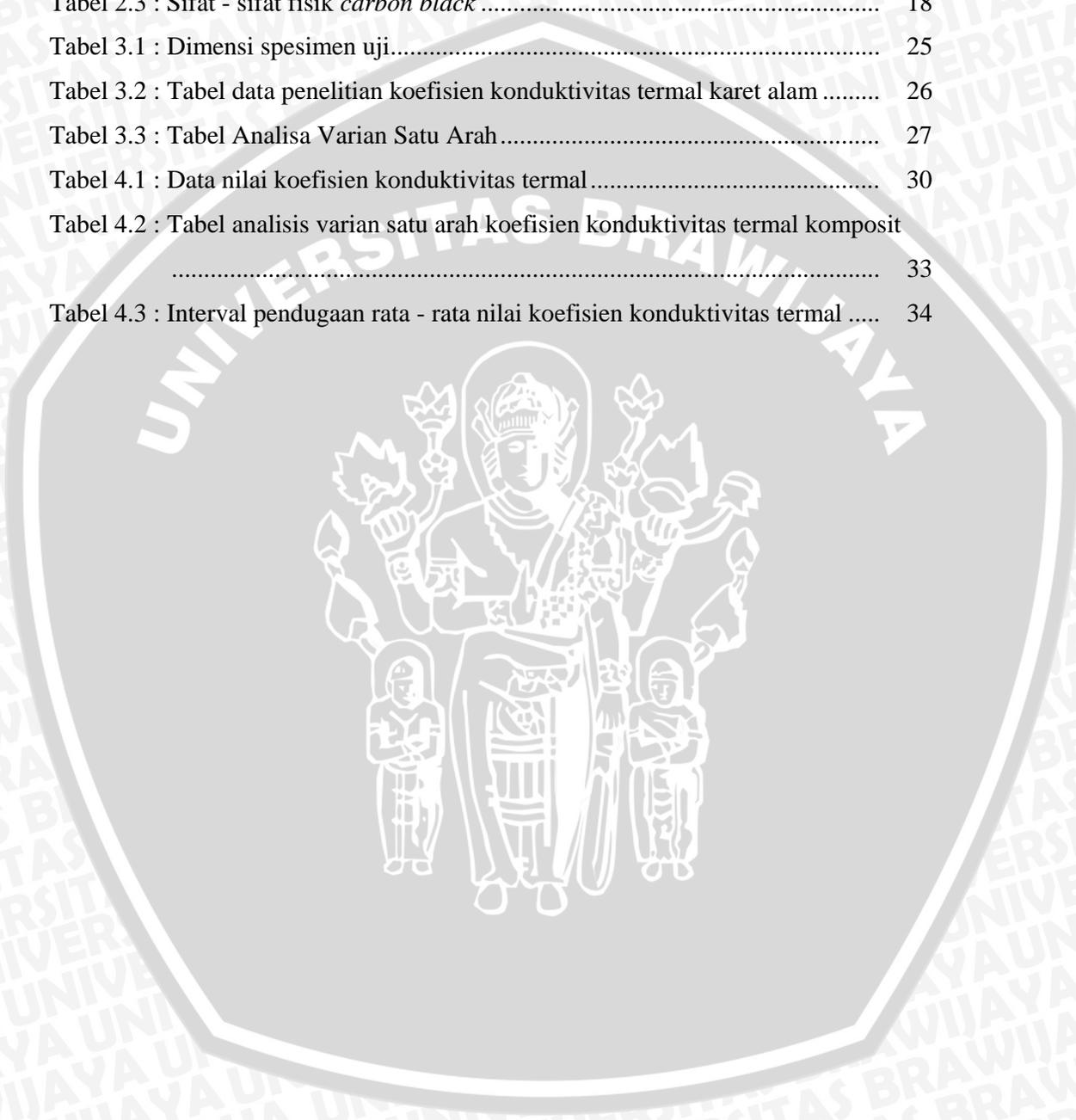
Tabel 3.2 : Tabel data penelitian koefisien konduktivitas termal karet alam 26

Tabel 3.3 : Tabel Analisa Varian Satu Arah..... 27

Tabel 4.1 : Data nilai koefisien konduktivitas termal..... 30

Tabel 4.2 : Tabel analisis varian satu arah koefisien konduktivitas termal komposit
..... 33

Tabel 4.3 : Interval pendugaan rata - rata nilai koefisien konduktivitas termal 34



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Peralatan, bahan dan proses pembuatan komposit karet
- Lampiran 2 : Foto spesimen
- Lampiran 3 : Tabel Distribusi F
- Lampiran 4 : Tabel Distribusi t
- Lampiran 5 : Data pengujian
- Lampiran 6 : Surat keterangan bebas laboratorium



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Besaran
A	: Meter persegi (m^2)	Luas
D	: Milimeter (mm)	Diameter
dT	: Derajat Celsius atau derajat Kelvin	Gradien perubahan temperatur
k	: Watt per meter per derajat suhu (watt/ $m^\circ C$ atau watt/ $m^\circ K$)	Koefisien konduktivitas termal
q	: Watt (W)	Laju perpindahan kalor
T	: Derajat Celsius atau derajat Kelvin	Temperatur
V	: Meter kubik (m^3)	Volume
X	: Meter (m)	Panjang
α		Tingkat kesalahan
ρ	: Gram per senti meter kubik (gr/cm^3)	Massa jenis
σ		Standar deviasi



RINGKASAN

Aneng Wicaksono, Juli 2007. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, *Analisa Pengaruh Ukuran Butir Carbon Black Terhadap Koefisien Konduktivitas Termal Karet Alam*. Pembimbing : Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT dan Putu Hadi Setyarini, ST. MT.

Material – material baru dengan karakteristik yang relatif baik untuk memenuhi kebutuhan manusia akan material teknik banyak dikembangkan. Dari sekian banyak produk perindustrian yang berkembang cukup pesat dan dibutuhkan baik dari segi bentuk maupun fungsinya adalah produk dari bahan polimer. Salah satu hal yang penting sejauh perkembangan kedudukan karet dalam persaingan sebagai material teknik yang mempunyai kemajuan teknologi yang sangat pesat adalah dalam memperbaiki ketahanan dan karakteristiknya agar dapat beradaptasi dengan kondisi pemakaian. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dan meningkatkan nilai ekonomisnya.

Penelitian ini menggunakan bahan karet alam jenis RSS-1 sebagai matrik sedangkan *carbon black* sebagai *fillernya*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata. Parameter dalam penelitian ini adalah ukuran butir *carbon black* dengan variasi 28 - 36 nm (N330), 39 - 55 nm (N550), 250 – 550 nm (N990) dan tanpa *carbon black* sebagai variabel bebas, koefisien konduktivitas termal sebagai variabel terikat dan fraksi massa *carbon black* yaitu 40 phr (*per hundred rubber*) sebagai variabel terkontrol. Proses pembuatan komposit karet alam menggunakan sistem penekanan dengan pemanasan setelah terlebih dahulu dibentuk menggunakan mesin *rubber mill*. Pengujian koefisien konduktivitas termal dilaksanakan di Laboratorium Phenomena Dasar Mesin, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Data yang diperoleh diolah dengan analisa varian satu arah dan analisa statistik serta digambarkan dalam bentuk grafik.

Dari hasil pengolahan data terbukti bahwa ukuran butir *carbon black* berpengaruh nyata terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam. Koefisien konduktivitas termal karet alam meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran butir *carbon black*. Nilai koefisien konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 28 – 36 nm (N330), yaitu sebesar 0,742199 W/m °C. Nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen tanpa penambahan *carbon black*, yaitu sebesar 0,344593 W/m °C. Sedangkan untuk spesimen dengan penambahan *carbon black* nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 250 – 550 nm (N990), yaitu sebesar 0,541925 W/m °C.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Material – material baru dengan karakteristik yang relatif baik untuk memenuhi kebutuhan manusia akan material teknik telah banyak dikembangkan. Dari sekian banyak produk perindustrian yang berkembang cukup pesat dan dibutuhkan baik dari segi bentuk maupun fungsinya adalah produk dari bahan polimer, salah satu contohnya adalah material karet. Karet adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan berbagai jenis bahan yang bersifat lentur, dapat dideformasikan beberapa kali lebih panjang dan dapat dikembalikan ke bentuk semula .

Salah satu hal yang penting sejauh perkembangan kedudukan karet dalam persaingan sebagai material teknik dengan kemajuan teknologi yang sangat pesat adalah dalam memperbaiki ketahanan dan karakteristiknya agar dapat beradaptasi dengan kondisi pemakaian (A. T. McPherson, 1956 : 1). Kegiatan berbagai industri amat banyak memerlukan barang - barang dari karet terutama dimanfaatkan untuk penahan getaran dan sebagai sekat agar tidak tembus air, selain itu karet juga digunakan sebagai bahan perekat dan bahan yang tahan gesekan. Penggunaan karet tersebar luas dalam berbagai sektor ekonomi seperti kendaraan bermotor, alas kaki, konstruksi sipil, material rumah sakit dan masih banyak lagi kebutuhan sosial lainnya.

Karet alam dan karet sintetis kini semakin banyak diperlukan untuk bahan baku bagi industri yang memproduksi berbagai barang dengan bahan dasar karet. Pemakaiannya disesuaikan dengan keperluan dalam pembuatan berbagai barang dari karet yang menuntut keistimewaan - keistimewaan tertentu. Berbagai barang dibuat seluruhnya dari karet alam atau karet sintetis, dari satu - dua jenis mutu atau dari campuran macam - macam jenis mutu karet alam dan sintetis. Pemakaian sedemikian merupakan “ rahasia ” tiap - tiap pabrik, yang selain ditentukan oleh sifat - sifat khusus dari macam - macam mutu karetnya, dapat juga didasarkan atas perkembangan harga serta lain - lain hal yang ada pengaruhnya terhadap pasaran karet (P. S. Siswoputranto, 1981 : 110).

Nazarudin (1992), menyatakan walaupun karet alam sekarang ini jumlah produksi dan konsumsinya jauh dibawa karet sintetis, tetapi sesungguhnya karet alam belum dapat tergantikan oleh karet sintetis. Bagaimanapun, keunggulan yang dimiliki karet alam sulit ditandingi oleh karet sintetis.

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur, keadaan tersebut jelas akan mempengaruhi sifat mekanik, listrik dan kimia. Koefisien konduktivitas termal suatu bahan merupakan laju aliran panas persatuan luas tegak lurus pada arah aliran persatuan gradien suhu. Koefisien konduktivitas termal pada bahan polimer sangat penting pada kecepatan pencetakan dan penggunaan produknya. Adanya penemuan teknologi di bidang perkeratan menjadikan industri karet dunia semakin berkembang. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dan meningkatkan nilai ekonomisnya. Dalam penggunaannya banyak ditemukan berbagai barang yang berbahan dasar karet yang berhubungan dengan temperatur, oleh karena itu diperlukan material yang sesuai dalam hal perpindahan panasnya. Perpindahan panas yang baik dapat ditunjukkan melalui nilai koefisien konduktivitas termal yang tinggi sehingga mudah dalam mengalirkan panas.

A. T. McPherson (1956), menyatakan karet yang mempunyai nilai koefisien konduktivitas termal yang tinggi baik digunakan untuk daerah yang membutuhkan perpindahan panas yang cepat akibat tingginya temperatur wilayah sekitar sehingga tidak merusak permukaan karet yang berarti memperpanjang usia karet. Untuk meningkatkan nilai koefisien konduktivitas termal produk karet maka perlu ditambahkan material lain, produk yang dihasilkan dari proses pencampuran disebut material komposit.

Komposit polimer merupakan salah satu jenis material baru yang memiliki karakteristik unggul untuk memenuhi kebutuhan manusia akan material teknik, karakteristik dari komposit tergantung dari unsur penyusunnya dan metode penyusunnya. Komposit terdiri dari dua material utama yaitu matrik dan *filler*. Matrik memiliki peran utama sebagai pengikat *filler*, biasanya terbuat dari polimer, keramik atau logam. Sedangkan *filler* merupakan unsur yang berperan sebagai penguat dari komposit, penguat ini dapat berupa serat maupun partikel lain baik itu yang organik maupun anorganik. Salah satu jenis *filler* yang banyak dipakai dalam pembuatan produk komposit polimer adalah bahan anorganik, selain itu koefisien konduktivitas termal komposit akan meningkat dengan adanya kenaikan jumlah fraksi volume *filler* anorganik (Wingga, 2006). Salah satu *filler* anorganik yang sering digunakan adalah *carbon black*, aplikasinya adalah dalam pembuatan pipa, panel - panel listrik dan komponen elektronika serta pada industri karet atau ban. *Carbon black* digunakan sebagai *filler* dalam polimer karena mempunyai sifat sebagai penguat, pewarna, lebih efektif bagi sifat tahan cuaca, memperkuat dan memberi hantaran listrik (Tata Surdia,

1985 : 250). Pertimbangan lain penggunaan *carbon black* sebagai *filler* adalah *carbon black* merupakan salah satu *filler* anorganik yang berbentuk partikel. Semakin kecil ukuran butir *carbon black*, maka semakin besar nilai luas penampang butir yang bersinggungan sehingga diharapkan pula meningkatkan nilai koefisien konduktivitas termal.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimanakah pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam ?.

1.3. Batasan Masalah

1. Proses yang digunakan adalah proses pembuatan komposit karet dengan menggunakan *rubber mill*, kemudian dicetak melalui penekanan manual dengan pemanasan.
2. Komposit yang digunakan terdiri dari karet alam sebagai matriks dan *carbon black* sebagai *fillernya*.
3. Digunakan bahan kimia, Arpus, Asam stearat, ZnO, TMQ, ULTRA lub, PVI, sulfur dan CBS untuk mempercepat reaksi.
4. Campuran komposit dianggap homogen.
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian koefisien konduktivitas termal.

1.4. Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai masukan dan pertimbangan dalam menentukan parameter – parameter yang mempengaruhi proses pembuatan material polimer komposit.
2. Menambah wawasan IPTEK khususnya bidang rekayasa material.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk dijadikan sebagai pembanding dan dasar pendekatan bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang pernah dilakukan

Suryasanthi (2004) menyatakan dewasa ini banyak dikembangkan komposit yang menggunakan material anorganik sebagai *filler* dalam bentuk partikel sebagai penguat. Komposit yang diperkuat dengan *filler* partikel dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat termal, sifat elektrik, serta dapat mengurangi biaya produksi. Dalam penelitiannya juga dapat diketahui bahwa sifat mekanik, sifat termal dan sifat elektrik komposit juga akan meningkat seiring dengan penurunan ukuran partikel yang digunakan. *Filler* partikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *mica* dengan variasi ukuran partikel (butiran) sebesar 35 μm dan 75 μm dan fraksi volume dari 5 % sampai 40 % yang ditambahkan ke dalam komposit *Nylon - 6*.

Wingga (2006) meneliti tentang pengaruh fraksi volume kalsium karbonat yang ditambahkan ke dalam matrik komposit poliester. Kekerasan dan konduktivitas termal komposit meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume kalsium karbonat. Kekerasan tertinggi didapat pada spesimen dengan penambahan fraksi volume kalsium karbonat sebanyak 40 %, yaitu sebesar 36,7 BHN dan nilai konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan penambahan fraksi volume kalsium karbonat sebanyak 40 %, yaitu sebesar 0,442932 W/m^{°K}.

Chuayjuljit (2002) menyelidiki tentang pengaruh ukuran butir dan jumlah *filler carbon black* dan kalsium karbonat terhadap karakteristik proses *curing* (pemanasan) dan sifat mekanik komposit karet alam. Ukuran butir *carbon black* yang digunakan adalah 26 - 30 nm (N330), 40 - 48 nm (N550) and 49 - 60 nm (N660), sedangkan ukuran butir kalsium karbonat yang digunakan adalah 390 nm. Jumlah *filler* yang digunakan adalah 0 phr, 30 phr, 45 phr dan 60 phr. Dalam penelitiannya dapat diketahui bahwa *carbon black* memberikan efek yang lebih baik terhadap karakteristik proses *curing* (pemanasan) dan sifat mekanik komposit karet alam jika dibandingkan dengan kalsium karbonat.

2.2. Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk, komposisi kimia dan tidak saling melarutkan antar materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lain

berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Jastzebski, 1987 : 522). Unsur yang berfungsi sebagai pengikat disebut dengan matriks, biasanya secara kuantitas lebih banyak daripada *filler*. Sedangkan *filler* adalah bahan yang berfungsi sebagai penguat yang akan menanggung beban jika material komposit tersebut dikenai gaya dari luar. Penambahan *filler* ke dalam matriks bertujuan mengurangi densitas, meningkatkan kekakuan dan mengurangi biaya per unit volume.

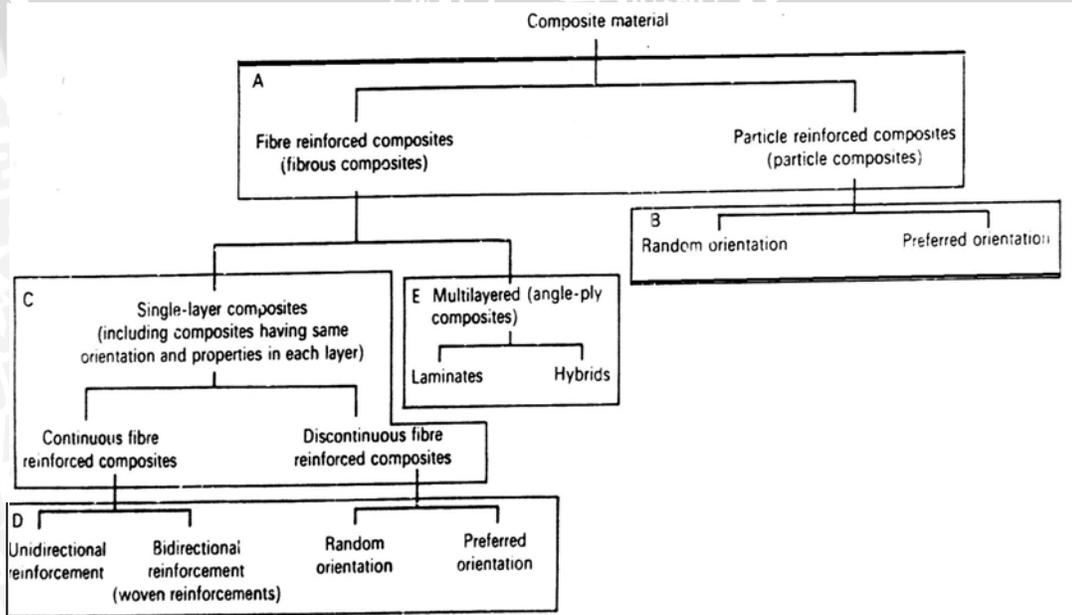
Keuntungan penggunaan material komposit adalah sebagai berikut (Schwartz, 1996) :

- Bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik.
- Hasil akhir (permukaan) yang baik.
- Biaya produksi lebih murah.
- Tahan terhadap korosi.

Kelemahan komposit adalah sebagai berikut :

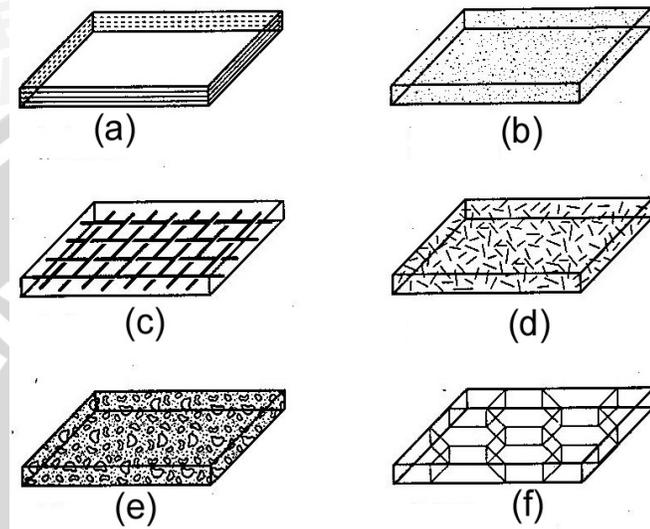
- Peka terhadap perubahan temperatur yang drastis.
- Beberapa bahan penyusun komposit mudah terbakar.
- Perbaikan bila terjadi kerusakan lebih sulit.

Berdasarkan jenis penguatnya komposit dapat dibedakan menjadi dua yaitu komposit berpenguat serat (*fibre reinforced composites*) dan komposit berpenguat partikel (*particle reinforced composites*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Klasifikasi Material Komposit
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 7

Karakteristik material komposit tergantung dari jenis matriks yang digunakan, jenis *filler*, perbandingan antara matrik dengan *filler*, metode penyusunan dan pembuatannya. Metode penyusunan filler pada komposit dapat dilakukan dengan metode laminar, partikel, serat kontinyu, serat tidak kontinyu, *flake*, dan sarang tawon sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 : Klasifikasi penguatan material komposit
 (a) laminar, (b) *particulate*, (c) serat kontinyu, (d) serat tidak kontinyu,
 (e) *flake*, dan (f) sarang tawon (*honeycomb*).

Sumber : Budinski, 1996 : 121

2.3. Klasifikasi Material Komposit

2.3.1 . Komposit berpenguat serat (*fibre reinforced composites*)

Fibre reinforced composites terdiri dari matrik dan serat. Matrik berfungsi sebagai perekat atau pemegang serat, melindungi serat dari kerusakan eksternal dan sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit ke serat. Komposit serat menggunakan serat sebagai *filler*. *Filler* yang sering digunakan antara lain *glass fibers* (serat gelas), *carbon fibers* (serat karbon) maupun serat alam.

Serat sendiri berfungsi sebagai penguat matrik. Penguat serat dicirikan oleh panjang penguat yang jauh lebih besar daripada diameternya (dimensi persilangan). Nilai perbandingan antara panjang serat dengan diameternya disebut aspek rasio. Untuk penggunaan serat tunggal, serat yang memiliki aspek rasio tinggi atau menggunakan serat panjang disebut *continuous fibre reinforced composites*, sedangkan sebaliknya, yang menggunakan serat pendek disebut *discontinuous fibre reinforced composites*.

Penyusunan serat panjang bisa longitudinal memanjang searah spesimen ataupun membentuk sudut tertentu. Untuk serat pendek bisa disusun secara acak (*random*) ataupun teratur (*preferred*).

Penyusunan serat juga bisa dilakukan secara multilayer yaitu dengan *laminates* dimana penguat disusun sebanyak beberapa lapisan (4 - 40 lapis) dengan merubah arah penyusunan serat pada tiap - tiap lapisnya atau dengan *hybrids* dimana beberapa jenis serat atau serat dengan partikel dicampur kemudian disusun sebanyak beberapa lapis pada matrik.

2.3.2. Komposit berpenguat partikel (*particulate reinforced composite*)

Komposit partikel merupakan campuran yang terdiri dari matriks dan partikel (butiran). Matriks berfungsi sebagai perekat atau pengikat partikel, melindungi partikel dari kerusakan eksternal dan sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit ke partikel.. Partikel berfungsi sebagai penguat yang memiliki ukuran menyerupai butiran seragam dan tidak memiliki dimensi panjang. Partikel yang digunakan pada material komposit bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus/gesek, meningkatkan kekerasan bahan dan untuk mengurangi biaya produksi. Penyusunan partikel dalam matrik bisa teratur (*preferred*) maupun acak (*random*) dan masing - masing menghasilkan sifat yang berbeda pula, partikel pada komposit ini dapat berupa bahan organik maupun anorganik.

2.4. Matrik

Dalam pembuatan material komposit matrik mempunyai peran sebagai berikut (Schwartz, 1996) :

- Sebagai bahan pengikat *filler*.
- Membantu mendistribusikan beban yang dikenakan pada material komposit kepada *filler*.
- Melindungi *filler* dari kerusakan eksternal seperti pengausan secara mekanik.
- Melindungi *filler* terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.

Secara umum matrik terdiri dari 3 macam :

- Polimer.
- Logam.
- Keramik.

Polimer adalah jenis matrik yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit, karena sifat polimer yang lebih ringan dan tidak korosif dibandingkan dengan logam serta harga yang relatif murah jika dibanding dengan keramik.

2.5. Polimer

Polimer digunakan dalam bidang industri karena memiliki karakteristik yang baik. Polimer merupakan bahan organik atau anorganik yang mempunyai berat molekul besar dan merupakan struktur berulang dari unit – unit kecil yang dinamakan monomer. Monomer - monomer tersebut bergabung melalui sebuah reaksi yang disebut dengan reaksi polimerisasi. Secara garis besar ada dua jenis reaksi polimerisasi, yaitu reaksi adisi dan reaksi kondensasi. Reaksi adisi adalah reaksi dimana ikatan - ikatan rangkap berubah menjadi ikatan tunggal bersamaan dengan terjadinya pemanjangan rantai. Sementara pada reaksi kondensasi adalah pemanjangan rantai molekul terjadi dengan bereaksinya gugus fungsi yang sering disertai dengan pelepasan molekul - molekul kecil, biasanya molekul air.

Monomer dalam polimer dapat disusun dalam berbagai cara, yaitu linear, bercabang dan berikatan silang. Polimer linear terbuat dari satu rantai kontinyu yang panjang, tanpa tambahan dan sisipan. Polimer bercabang memiliki struktur rantai yang terdiri dari satu molekul berantai panjang dengan rantai - rantai molekul yang lebih kecil yang merupakan cabang dari rantai utama tadi. Polimer bercabang cenderung memiliki kristalinitas dan densitas yang lebih rendah. Polimer yang berikatan silang akan terbentuk bila ikatan terbentuk antar rantai molekul polimer yang berbeda.

Polimer dapat berada dalam keadaan kristalin maupun amorf. Rantai - rantai polimer yang simetrik cenderung kristalin, walaupun tidak pernah 100 %. Polimer yang kristalinitasnya tinggi memiliki titik leleh (T_m) yang agak tinggi. Polimer yang semi kristalin (kristalinitasnya rendah) atau amorf tidak memiliki titik leleh yang jelas karena susunan molekulnya acak. Pada suhu rendah di bawah temperatur gelas (T_g), segmen - segmen polimer tidak bergerak sehingga polimer bersifat rapuh. Dengan naiknya temperatur mendekati T_g , bagian - bagian polimer mulai dapat bergerak. Di atas T_g , mobilitasnya cukup tinggi sehingga polimer dapat mengalir seperti cairan kental.

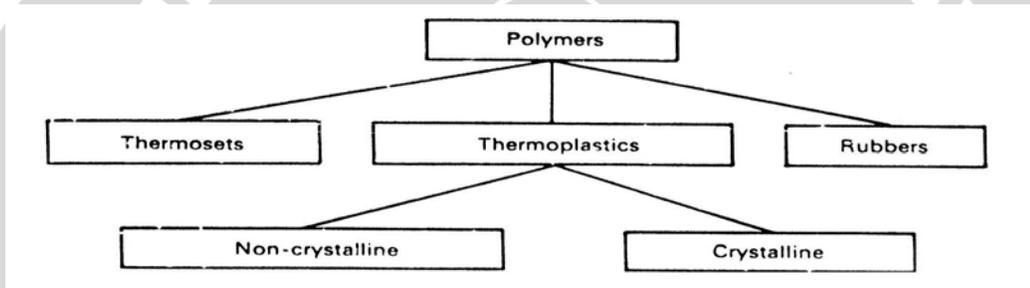
Beberapa sifat polimer yang menguntungkan, yaitu :

- Tahan terhadap korosi kimia.
- Massa jenis rendah.
- Dapat diwarnai.
- Mempunyai permukaan yang baik.

Sedangkan kerugiannya adalah :

- Mudah rusak pada suhu rendah.
- Modulus elastisitas (keuletan) rendah.
- Mudah terbakar.

Secara umum berdasarkan penggunaan polimer sebagai matrik dalam komposit, maka polimer dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu termoset, termoplastik dan karet seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2.3 : Klasifikasi Polimer Sebagai Matrik Komposit
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 169

- **Termoplastik**

Termoplastik mempunyai ikatan linear antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya akan relatif rendah. Reaksi kimia pada termoplastik bersifat *reversibel* memungkinkan suatu komponen untuk dibentuk kembali. Bila dilihat dari struktur penyusunnya, termoplastik dibagi menjadi 2 yaitu *amorphous* dan kristalin. Tetapi pada kenyataannya sulit ditemukan material yang murni kristalin, umumnya berstruktur semi kristalin, seperti *nylon* dan *polyethylene*. Sedangkan contoh untuk jenis *amorphous* adalah *polysterene* dan *acrylic*.

- **Termoset**

Termoset adalah salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat. Matrik jenis ini memiliki rantai - rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami

pemanasan dan penekanan, masing - masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif satu sama lain. Matrik akan mencair dan kemudian mengeras bersamaan dengan terbentuknya suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil. Termoset akan mengeras karena suatu rangkaian/ikatan kimia yang bersifat *irreversible*. Termoset ini terbentuk dari proses pembentukan struktur *crosslinking* atau hubungan silang yang mana tidak bisa dicairkan maupun proses ulang walaupun diberi panas dan apabila panas yang diberikan berlebih, material ini akan terbakar hangus. Sifat mekanik dari resin ini akan bergantung pada jarak dan kerapatan mata rantai ikatan kimia dan monomer pembentuknya.

Penggunaannya lebih sedikit dibandingkan dengan termoplastik, karena tidak bisa menggunakan proses *injection molding* dan proses pembuatan termoset lebih mahal. Secara fisik termoset lebih rapuh dan kaku tetapi lebih keras daripada termoplastik. Dan biasanya tidak dapat digunakan bila tanpa diberi penguat atau *filler*. Beberapa jenis termoset adalah *Phenolic*, *Alkyds*, *Melamin Formaldehyde* dan *Polyester*.

- **Karet**

Karet alam merupakan hasil pengolahan lateks dari pohon *Hevea Brasiliensis*. Saat ini yang menguasai pasar secara luas adalah produk - produk yang berbahan karet sintesis. Untuk meningkatkan karakteristiknya untuk berbagai keperluan penggunaan karet, maka hampir semua jenis karet harus dilakukan proses *vulkanized*, yaitu suatu proses yang pada intinya merubah rantai panjang molekul menjadi rantai *cross-link*.

2.5.1. Rubber

Rubber atau karet merupakan salah satu jenis dari polimer utama, yang strukturnya terdiri atas molekul - molekul yang tersusun dalam bentuk rantai linier dengan beberapa ikatan silang antar molekulnya. Serta mempunyai sifat yang elastis dan dapat dikembalikan ke bentuk semula apabila suatu beban dipindahkan dari material tersebut. Harga karet alam sedikit lebih mahal daripada karet sintetik.

Karet lunak mengandung 1 ÷ 4 % belerang sebagai vulkanizer, sedangkan karet keras mengandung lebih dari 25 % belerang. Proses vulkanisasi secara keseluruhan menghasilkan 45 % ebonit (karet keras). Nilai elastisitas suatu karet dapat ditunjukkan dengan seberapa banyak ikatan silangnya, penambahan belerang yang rendah dapat

membuat karet lebih lunak. Semakin meningkatnya penambahan belerang dapat membuat karet menjadi lebih kaku. Untuk mendapatkan elastisitas yang optimal biasanya ditambahkan belerang sebesar $20 \div 40 \%$.

2.5.1.1. Karet alam

Karet alam merupakan produk yang diperoleh dari pengolahan lateks pohon dan semak - semak, umumnya melalui torehan atau pemotongan tanamannya. Lateks dapat digolongkan sebagai cadangan makanan bagi pohonnya dan merupakan pula ” bahan penyembuh ” jika kulit pohon terluka.

Lateks atau getah karet diperoleh dengan jalan melukai kulit batang pohon karet yang disebut dengan penyadapan. Dari kulit pohon yang terluka karena disadap tersebut akan keluar lateks yang kemudian ditampung dalam mangkuk sadapan yang diikatkan pada batang pohonnya. Lateks ini kemudian dibawa ke pabrik pengolahan untuk diolah menjadi berbagai jenis bahan karet tergantung pada cara - cara pengolahannya, seperti karet *sheet*, karet *crepe*, lateks pekat dan karet spesifikasi teknis.

Sampai saat ini dikenal beberapa cara pengolahan yang menghasilkan jenis - jenis karet alam yang diterima pasaran dan industri - industri barang karet, yang dapat digolongkan sebagai berikut :

- Karet konvensional : *sheet*, krep (*crepe*) dan lateks (*centrifuged lateks* dan umumnya disebut lateks).
- Karet jenis baru : karet butiran (*comminuted rubber*), karet pellet (*pelletised rubber*), karet remah (*crumb rubber*), karet cacahan (*shredded rubber*) dan lain-lain.

Karet alam baik dalam kekuatan tarik, kekenyalan dan gaya pegasnya. Tetapi sifat kimianya jelek terhadap ketahanan bahan bakar, minyak, nyala api dan penuaan akibat cahaya matahari. Untuk meningkatkan ketahanan ausnya maka dapat ditambahkan pengisi (*filler*) seperti : *carbon black*, *silicon dioxide*, tanah liat dan serbuk kayu. Karet alam digunakan untuk ban mobil dan tabung, gasket, isolasi alat - alat bantu anti vibrasi, pipa karet dan *belts*. Karet alam mempunyai berat jenis $0,91 - 0,93 \text{ gr/cm}^3$. Selain itu karet alam mempunyai titik transisi gelas yang rendah (T_g kira-kira $-78 \text{ }^\circ\text{C}$), yang menunjukkan kekenyalan karet yang menguntungkan pada temperatur biasa. Temperatur penggunaan paling tinggi adalah sekitar $99 \text{ }^\circ\text{C}$, melunak pada $130 \text{ }^\circ\text{C}$ dan mengurai pada kira-kira $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.5.1.1.1. Karet *sheet*

Prinsip Pengolahan jenis karet ini adalah mengubah lateks segar menjadi lembaran - lembaran (*sheet*) lewat proses penyaringan, pengenceran, pembekuan, penggilingan dan pengasapan.

Lateks yang sudah diencerkan dibekukan dalam bak - bak koagulasi. Untuk membekukan lateks dipakai larutan asam format (1 %) atau larutan asam asetat (2 %). Bekuan lateks (*coagulum*) akhirnya digiling dengan menggunakan *roll* yang menghasilkan karet lembaran yang bentuknya terkembang (*ribbed sheet*) tebalnya kira - kira 3 sampai 3,5 mm. Penggilingan ini bertujuan untuk menghilangkan air dalam koagulum dan menipiskan lembaran - lembaran karet. Pada *roll* terakhir lembaran karet digiling dengan *printer*, agar permukaan lembaran karet mempunyai alur, terutama untuk mempercepat pengeringan. Kemudian lembaran - lembaran karet dicuci dengan air bersih, digantung, dijemur dan akhirnya dikeringkan dengan pengasapan dalam rumah asap selama 3, 4 atau 5 hari. Suhu rumah asap diatur tidak melebihi 60 °C.

Sebelum dipak, diadakan sortasi atas lembaran - lembaran karet untuk menggolongkan jenis mutunya. Lembaran - lembaran karet diperiksa apakah mengandung kotoran - kotoran dan gelembung - gelembung udara. Bagian - bagian lembaran karet yang mengandung kotoran atau kurang masak, digunting dan dihilangkan. Selain itu diperiksa juga berat, tebal dan warna masing - masing lembaran karet. Berat tiap karet berkisar 1,0 - 1,5 kg dengan tebal sekitar 2,5 - 3,5 mm, dengan panjang 90 - 135 cm dan lebar sekitar 45 cm. Warna yang sering diminta adalah coklat dan lembaran karetnya jernih.

Lembaran - lembaran karet yang telah disortasi kemudian dipak dalam bandela dan dibungkus dengan lembaran karet dari jenis mutu sama atau mutu yang lebih baik. Berat tiap bandela sekitar 224 lbs (minimum) sampai 250 lbs. Untuk jenis mutu RSS-1X, RSS-1 dan RSS-2 pada kulit luarnya dipupuri tepung agar tidak melekat. Semua sisi bandela dioles dengan suatu larutan tertentu (*the official bale coating solution*) dan diberi tanda pada dua sisi yang berdampingan. Bobot bandela harus sama dan dalam satu pengiriman tidak diperbolehkan selisih berat lebih 1 % dari masing - masing bandela. Karet lembaran (*sheet*) sering disebut dengan *Ribbed Smoked Sheet*, yang termasuk karet kelas ini adalah RSS-1.

Karet jenis RSS-1 mempunyai sifat yang kering, bersih, kuat, bagus, tidak cacat, tidak melepuh, serta tidak ada benda - benda yang mengotorinya. Tidak boleh ada garis - garis karena ada pengaruh oksidasi, lembaran karet lembek, suhu pengeringan terlalu

tinggi, belum benar - benar kering, pengasapan berlebihan, warna terlalu tua, serta terbakar. Bila terdapat gelembung - gelembung kecil seukuran kepala jarum pentul, asalkan letaknya tersebar merata, masih diperkenankan. Pembungkusan harus baik agar tidak terkontaminasi jamur. Tetapi, bila sewaktu diterima terdapat jamur pada pembungkusnya, masih bisa ditolerir asalkan tidak masuk ke dalam karetinya. Panjang RSS-1 tidak boleh terlalu kecil sehingga mirip karet guntingan.

2.5.1.2. Karet sintetis

Karet sintetis sebagian besar dibuat dengan mengandalkan bahan baku minyak bumi. Karet sintetis mempunyai banyak jenis dan tiap jenis memiliki sifat sendiri yang khas. Ada jenis yang tahan terhadap panas atau suhu tinggi, minyak, pengaruh udara dan bahkan ada yang kedap gas. Berdasarkan tujuan pemanfaatannya, ada dua macam karet sintetis yang dikenal, yaitu karet sintetis yang digunakan secara umum serta karet sintetis yang digunakan untuk keperluan khusus.

Karet sintetis untuk kegunaan umum dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Diantaranya adalah SBR (*Styrena Butadiene Rubber*), BR (*Butadiene Rubber*) atau *Polybutadiene Rubber* dan IR (*Isoprene Rubber*) atau *Polyisoprene Rubber*.

Karet sintetis untuk kegunaan khusus tidak terlalu banyak digunakan dibanding karet sintetis yang pertama. Jenis ini digunakan untuk keperluan khusus karena memiliki sifat khusus yang tidak dipunyai karet sintetis jenis pertama. Sifat yang sekaligus kelebihanannya ini adalah tahan terhadap minyak, oksidasi, panas atau suhu tinggi, serta kedap terhadap gas. Beberapa jenis karet sintetis untuk kegunaan khusus yang banyak dibutuhkan diantaranya adalah IIR (*Isobutene Isoprene Rubber*), NBR (*Nytrile Butadiene Rubber*) atau *Acrilo Nytrile Butadiene Rubber*, CR (*Clhoroprene Rubber*), EPR (*Ethylene Propylene Rubber*).

Karet sintetis banyak digunakan dalam produk-produk pipa karet, pembungkus kabel, gasket, serta barang lain yang banyak dipakai untuk peralatan kendaraan bermotor atau industri gas.

2.6. Karakteristik Polimer

Sifat - sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kemampuan cetak yang baik. Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penekanan, ekstrusi, dan metode yang lain sehingga

dapat memberikan ongkos pembuatan yang rendah daripada logam dan keramik.

2. Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat dari polimer.
3. Banyak di antara polimer bersifat isolasi listrik yang baik. Polimer dapat juga dibuat konduktor yaitu dengan jalan mencampurnya dengan serbuk logam, dan butiran karbon.
4. Baik sekali dalam ketahanan air dan ketahanan zat kimia.
5. Produk - produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya.
6. Umumnya bahan polimer lebih murah.
7. Kurang tahan terhadap panas, sehingga perlu perhatian khusus dalam penggunaannya.
8. Mempunyai kekurangan dalam kekerasan permukaan.
9. Kurang tahan terhadap pelarut, mudah retak karena kontak yang terus menerus dengan pelarut dan disertai dengan adanya tegangan.
10. Mudah termuati listrik secara elektrostatik.
11. Beberapa bahan tahan abrasi, atau mempunyai koefisien gesek yang kecil.

Pemilihan jenis polimer sebagai bahan suatu produk, haruslah mempertimbangkan karakteristik dari polimer agar sesuai dengan fungsi dan kriteria yang harus dipenuhi oleh produk tersebut. Sifat – sifat bahan polimer yang harus diperhatikan adalah :

2.6.1. Massa jenis

Massa jenis komposit cenderung lebih rendah daripada logam ($2,7 - 9 \text{ gr/cm}^3$) dan keramik ($2,1 - 5,3 \text{ gr/cm}^3$), sehingga harga per satuan massa jenis sering lebih besar daripada bahan lain. Diperbandingkan dalam volume yang sama, didapat bahan yang lebih ringan dan lebih kuat. Dilihat dari mahal atau murahnya, massa jenis adalah faktor yang penting. Untuk membandingkan bahan - bahan yang menyangkut berat dan volume, selanjutnya bahan polimer kadang - kadang dipakai memperkecil massa jenis dengan pembusaan, karena itu massa jenisnya menjadi lebih penting daripada bahan lain.

2.6.2. Koefisien konduktivitas termal

Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang bisa berpindah dari satu benda yang mempunyai temperatur tinggi ke benda lain yang temperturnya lebih rendah. Perpindahan kalor yang disebabkan karena perbedaan temperatur tersebut tidak dapat dilihat oleh mata tetapi dapat diukur (Frank Kreith, 1997). Mekanisme perpindahan kalor tersebut disebabkan karena adanya gerakan atom dalam bahan, atom - atom bergetar kemudian atom - atom tersebut saling memindahkan sebagian energi yang dimilikinya ke atom - atom tetangga yang ditumbuknya. Begitu pula dengan atom - atom tetangga lainnya akan mengalami peristiwa yang serupa, sehingga terjadilah hantaran energi di dalam bahan tersebut.

Salah satu cara perpindahan kalor adalah perpindahan kalor secara konduksi. Konduksi merupakan perpindahan kalor yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah dengan tidak diikuti perpindahan massa. Mekanisme perpindahan kalor pada zat padat ada dua, yaitu melalui angkutan elektron bebas dan dengan getaran kisi. Perpindahan angkutan elektron bebas dilakukan oleh elektron bebas yang mana pada bagian yang bersuhu tinggi, energi kinetik ditunjukkan dengan tingginya temperatur sehingga mengakibatkan pergerakan molekul lebih cepat daripada elektron yang bertemperatur rendah. Elektron - elektron itu bergerak secara acak, saling bertabrakan sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Dari peristiwa tersebut elektron yang membawa temperatur tinggi akan menyerahkan sebagian temperturnya kepada elektron yang bertemperatur lebih rendah. Energi dapat pula berpindah sebagai energi getaran dalam struktur kisi bahan. Getaran kisi adalah berupa gelombang tetap yang bergerak melalui material.

Karena tidak memiliki atau hanya sedikit sekali elektron bebas yang terdapat dalam material non logam, maka perpindahan panas konduksi yang terjadi pada hampir semua bahan non logam adalah dengan getaran kisi. Sehingga pengaruh dari elektron bebas sangat kecil, hal ini mengakibatkan rendahnya nilai koefisien konduktivitas termal pada material jenis ini (Koestoer, 2002).

Laju perpindahan kalor (q_x) dengan cara konduksi dipengaruhi oleh nilai koefisien konduktivitas termal bahan (k), luas penampang yang dilalui panas dengan cara konduksi yang diukur tegak lurus terhadap arah aliran kalor (A) dan yang terakhir adalah gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu (T) terhadap jarak dalam arah aliran panas (x) yang ditunjukkan dengan $(\partial T/\partial x)$. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Frank Kreith, 1997 : 7) :

$$q_x = -k.A. \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.1)$$

$$q_x = -k.A. \frac{(T_1 - T_2)}{x} \quad (2.2)$$

dengan:

T_1 = Bagian yang bertemperatur tinggi ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Bagian yang bertemperatur rendah ($^{\circ}\text{C}$)

A = Luas penampang bahan (m^2)

x = Tebal bahan (m)

k = Koefisien konduktivitas termal bahan ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

q_x = Laju aliran panas konduksi (watt)

$\partial T/\partial x$ = Gradien temperatur ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

Tanda (-) pada persamaan diatas menunjukkan gradien suhu yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Koefisien konduktivitas termal bahan didefinisikan sebagai laju aliran panas persatuan luas tegak lurus pada arah aliran persatuan gradien suhu. Holman menyatakan bahwa angka koefisien konduktivitas termal menunjukkan berapa cepat kalor mengalir dalam suatu bahan tertentu. Koefisien konduktivitas termal pada bahan polimer sangat penting pada kecepatan pencetakan dan penggunaan produknya (Tata Surdia, 1999). Koefisien konduktivitas termal beberapa jenis karet yang paling sering digunakan sebagai bahan polimer ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Koefisien konduktivitas termal beberapa jenis karet

Material	Koefisien Konduktivitas Termal ($\text{Cal sec}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ deg}^{-1}$)
Karet Alam, tanpa vulkanisir	0.00034
Neoprene, tipe GN	0.00046
GR-S, pure gum	0.00059
Acrylonitrile rubber	0.00059
Butyl	0.00022

Sumber : A. T. McPherson, 1956 : 102

2.7. Filler (Pengisi)

Filler merupakan bahan yang banyak digunakan untuk ditambahkan pada matrik, dalam hal ini polimer sebagai matrik. *Filler* yang ditambahkan pada bahan polimer berfungsi untuk meningkatkan sifat - sifatnya, meningkatkan kemampuan pemrosesan, dan untuk mengurangi ongkos produksi (Tata Surdia, 1985 : 246). Salah satu fungsi *filler* dalam komposit adalah digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) matriks.

2.7.1. Carbon black

Secara sederhana *carbon black* didefinisikan sebagai suatu bahan elemen karbon yang berwarna hitam, pada waktu sekarang ini umumnya dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari hidrokarbon alami. *Carbon black* merupakan salah satu elemen karbon yang mempunyai struktur molekul *amorf* yang mempunyai nilai rasio yang tinggi antara luas permukaan dengan volume. *Carbon black* biasanya digunakan sebagai pewarna dan sebagai penguat dalam produk karet dan plastik, selain itu juga dapat digunakan dalam produk tinta dan cat. Sebanyak 20 % produksi dunia akan *carbon black* menghasilkan produk seperti *belt*, pipa karet, dan produk-produk yang lain. Sisanya digunakan dalam produksi tinta dan sebagai pewarna untuk barang selain ban, beberapa tipe *carbon black* yang banyak digunakan pada produk berbahan dasar karet ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tipe – tipe *carbon black*

Name	Abbrev.	ASTM Desig.	Particle Size nm	Tensile Strength MPa	Relative Laboratory Abrasion	Relative Roadwear Abrasion
Super Abrasion Furnace	SAF	N110	20-25	25.2	1.35	1.25
Intermediate SAF	ISAF	N220	24-33	23.1	1.25	1.15
High Abrasion Furnace	HAF	N330	28-36	22.4	1.00	1.00
Easy Processing Channel	EPC	N300	30-35	21.7	0.80	0.90
Fast Extruding Furnace	FEF	N550	39-55	18.2	0.64	0.72
High Modulus Furnace	HMF	N683	49-73	16.1	0.56	0.66
Semi-Reinforcing Furnace	SRF	N770	70-96	14.7	0.48	0.60
Fine Thermal	FT	N880	180-200	12.6	0.22	--
Medium Thermal	MT	N990	250-350	9.8	0.18	--

Sumber : (http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black)

Sebanyak 70 % dari pemakaian secara umum dari *carbon black* digunakan sebagai pewarna dan sebagai penguat dalam suatu tahapan pembuatan ban kendaraan bermotor. *Carbon black* juga membantu dalam mengkonduksikan panas dari bagian permukaan ban, mengurangi kerusakan yang berhubungan dengan panas, serta memperpanjang umur ban. Beberapa sifat-sifat fisik *carbon black* ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisik *carbon black*

Atomic Number	6
Molecular Weight (g/mol.)	12.0111
Apparent Density (g/cm ³)	2.26
Compacted Density (g/l)	120-500
Melting Point (°C)	3727 deg.C
Boiling Point (°C)	4830 deg.C
Surface Area (m ² /g)	90-460
Thermal Conductivity (cal/s-cm-°C)	0.057
Mohs Hardness @20°C	2 - 2.9
pH	3-10
Particle Shape	spherical, irregular, flake, shot, needle, crystal
Specific Heat @ 25 deg.C	0.165 cal/g
Crystallography	Hexagonal

Sumber : (http://www.reade.com/Products/Carbons/carbon_black.html)

2.8. Teori Penguatan Komposit

Kekuatan komposit ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah antara matrik dengan pengisinya (*filler*). Dalam hal ini, koefisien konduktivitas termal komposit ditentukan berdasarkan perbandingan fraksi massa *carbon black* sebagai *filler* dan karet alam sebagai matrik.

Untuk semua nilai koefisien konduktivitas termal spesimen :

$$q_c = q_f \frac{M_f}{M_f + M_m} + q_m \frac{M_m}{M_f + M_m} \quad (2.3)$$

Dimana q' menunjukkan nilai koefisien konduktivitas termal dan M menunjukkan fraksi massa komponen di dalam komposit. Indeks c , f dan m menunjukkan komposit, *filler* dan matrik. Persamaan (2.3) ini dikenal sebagai aturan campuran (*rule of mixture*).

2.9. Metode Pembuatan Komposit

Pada pembuatan material komposit harus diperhatikan metode yang digunakan agar didapatkan produk dengan karakteristik yang diinginkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *rubber mill* yaitu karet dibuat lembaran tipis dengan menggunakan rol panas dan kemudian dicetak dengan proses penekanan manual dengan pemanasan menurut bentuk yang diinginkan.

2.10. Hipotesis

Penambahan *carbon black* sebagai *filler* yang mempunyai bentuk partikel akan menaikkan nilai koefisien konduktivitas termal karet alam. Semakin kecil ukuran butir *carbon black* maka semakin besar luas permukaan butir yang bersinggungan, sehingga akan menaikkan nilai koefisien konduktivitas termal karet alam.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental sejati di lapangan dan pengkajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, internet maupun jurnal yang ada dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (ukuran butir *carbon black*) dengan variabel terikat (koefisien konduktivitas termal karet alam).

3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari tiga macam yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perbandingan ukuran butir *carbon black* yaitu : tanpa *carbon black*, 28 - 36 nm (N330), 39 - 55 nm (N550) dan 250 - 550 nm (N990).

b. Variabel Terikat

Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, variabel ini disebut juga variabel terikat. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah koefisien konduktivitas termal (*thermal conductivity*) produk hasil.

c. Variabel Terkendali

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah fraksi massa *carbon black* yaitu 40 phr (*per hundred rubber*).

3.3. Alat dan Bahan yang digunakan

3.3.1. Alat yang digunakan

a. Mesin *rubber mill*.

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model : XK - 400

Diameter rol : 400 mm

Panjang rol : 1000 mm
Daya motor : 45 KW
Kecepatan putar rol : 19,12 m/min
Rasio kecepatan putar : 1 : 1,27
Produksi : DALIAN LUSHUN RUBBER AND PLASTIC MACHINERY WORK.
Tahun pembuatan : 1994



Gambar 3.1 : Mesin *Rubber mill*
Sumber : PT. New World

b. Alat tekan (*press tool*) manual dengan pemanas.



Gambar 3.2 : Alat tekan manual dengan pemanas
Sumber : Karet home industri

- c. Alat yang digunakan untuk mengetahui nilai koefisien konduktivitas termal dari material. Spesifikasinya adalah sebagai berikut :

Model : HVS – 40 – 200 SE
Temperatur maksimal : 200 °C
Produksi : OGAWA SEIKI CO. LTD
Tahun pembuatan : 1987



Gambar 3.3 : *Thermal conductivity measuring apparatus*
Sumber : Laboratorium Phenomena Dasar Mesin

- d. Cetakan spesimen.
e. *Stop Watch*.
f. Timbangan.
g. Foto digital.

3.3.2. Bahan yang digunakan

1. Karet Alam jenis RSS-1.
2. *Filler* digunakan *carbon black grade* N330, N550, N990 dan tanpa *carbon black*.

3.4. Tempat dan Waktu Penelitian

Untuk memperoleh data yang dipakai dalam penyusunan skripsi, penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2007 sampai dengan Mei 2007 di :

- a. PT. New World, Jl. Sumber Pacar no. 1, Lawang – Malang.

- b. Karet *home industri*, Jl. Perusahaan gg. III RT. 02 RW. 08 Tunjung Tirto, Singosari – Malang.
- c. Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

3.5. Prosedur Pembuatan Spesimen Komposit

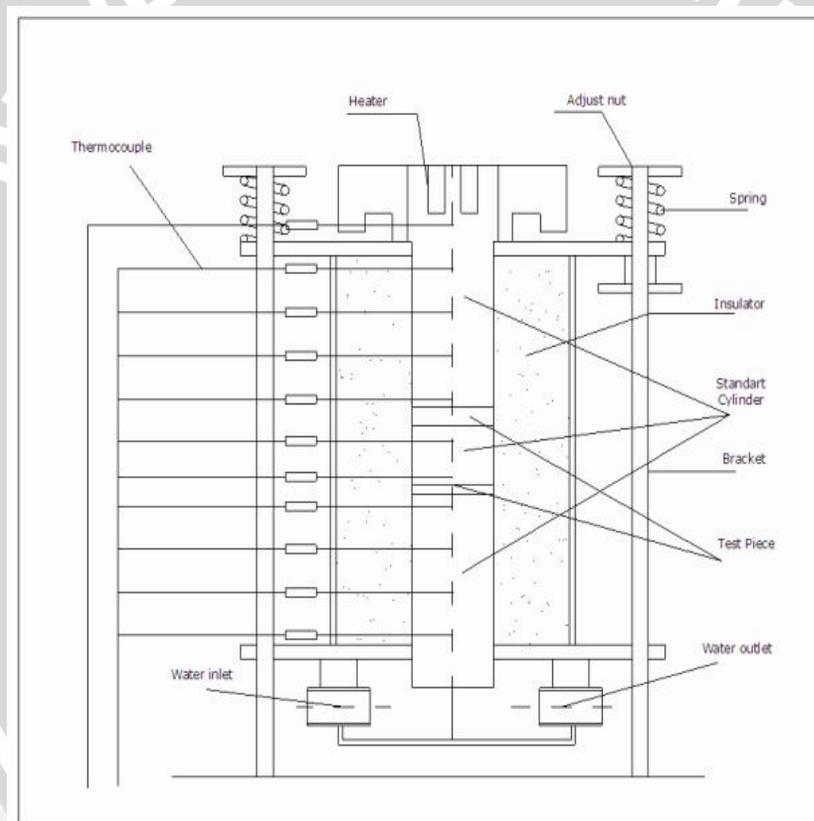
- a. Karet alam jenis RSS-1 dimastikasi menggunakan mesin *rubber mill* selama kurang lebih 1,75 menit.
- b. Kemudian bahan kimia khusus karet berupa arpus dicampurkan kedalam mesin *rubber mill* selama kurang lebih 1 menit.
- c. Setelah karet telah bercampur dengan arpus, *carbon black* dimasukkan kedalam mesin *rubber mill* secara bertahap selama kurang lebih 3 menit.
- d. Asam stearat, ZnO, TMQ dan ULTRA lub ditambahkan untuk kemudian dicampurkan kedalam *rubber mill* selama kurang lebih 1 menit.
- e. Tahap akhir dari penambahan bahan kimia adalah pencampuran PVI, sulfur dan CBS.
- f. Untuk pencetakan, karet dibentuk dalam bentuk lembaran.
- g. Karet kemudian dicetak dengan alat tekan (*press tool*) manual dengan pemanasan.
- h. *Finishing* untuk mendapatkan bentuk spesimen uji koefisien konduktivitas termal.

3.6. Metode Pengujian Koefisien Konduktivitas Termal

Pengujian koefisien konduktivitas termal dilakukan dengan menggunakan *thermal conductivity measuring apparatus* yang memerlukan dua spesimen yang mempunyai diameter sama tetapi tebalnya berbeda untuk tiap - tiap pengujian. Pada dasarnya pengujian ini dilakukan untuk mencari beda temperatur pada dua belah sisi spesimen. Dari perubahan temperatur yang dihasilkan kedua belah sisi tersebut nantinya akan diolah untuk mencari nilai koefisien konduktivitas termal spesimen. Langkah - langkah pelaksanaan pengujian adalah :

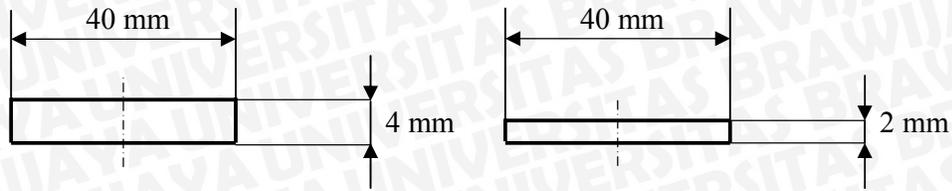
- a. Benda uji dipasang, dimana spesimen dengan tebal 4 mm di posisi atas dan spesimen dengan tebal 2 mm di bawah.
- b. Logam penghantar panas dihimpitkan tepat diatas spesimen.

- c. Batang logam dan spesimen ditutup dengan selubung penutup untuk menghindari pengaruh konveksi dari udara sekitar.
- d. Suhu maksimum pemanasan diatur pada 100 °C.
- e. *Heater* dinyalakan dan ditunggu beberapa saat sampai suhu benar - benar stabil mencapai 100 °C.
- f. Data temperatur diambil pada tiap - tiap titik sensor.
- g. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap - tiap perbedaan ukuran butir.
- h. Untuk pergantian jenis spesimen dengan ukuran butir yang berbeda, batang penghantar ditunggu sampai dingin dan dilakukan pengulangan langkah a sampai f.



Gambar 3.4 : Instalasi uji koefisien konduktivitas termal
Sumber : Laboratorium Phenomena Dasar Mesin

Gambar 3.5 menunjukkan spesimen yang digunakan dalam pengujian koefisien konduktivitas termal. Diameter kedua spesimen besarnya sama, tetapi masing – masing memiliki tebal yang berbeda.



Gambar 3.5 : Spesimen uji koefisien konduktivitas termal

Tabel 3.1. Dimensi spesimen uji

Spesimen	Diameter (d)	Tebal (t)	Volume (V)
I	40 mm	4 mm	5.024 mm ³
II	40 mm	2 mm	2.512 mm ³

3.7. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisa yang tepat sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisa data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisa statistik dengan menggunakan analisa varian satu arah.

3.7.1. Analisa Varian Satu Arah

Berdasarkan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap koefisien konduktivitas termal komposit karet alam. Hasil komposit karena pengaruh ukuran butir *carbon black* dianggap sebagai μ_1, μ_2, μ_3 dan μ_4 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (Komposisi ukuran butir *carbon black* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam).

Vs

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ (Komposisi ukuran butir *carbon black* memberikan pengaruh yang nyata terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam).

Pengamatan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 3.2. Tabel data penelitian koefisien konduktivitas termal karet alam

Perlakuan ulangan	Ukuran butir <i>carbon black</i> (nm)			
	Tanpa <i>carbon black</i>	28 – 36 (N330)	39 – 55 (N550)	250 – 550 (N990)
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄
Jumlah	∑ Y _{i1}	∑ Y _{i2}	∑ Y _{i3}	∑ Y _{i4}
Nilai rata-rata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4

Keterangan :

Y = Data koefisien konduktivitas termal spesimen

Y_{ij} = Data pengamatan yang pada pengulangan ke i variasi ukuran butir ke j

Berdasarkan pada tabel diatas dapat dihitung :

- Jumlah Seluruh Perlakuan = $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$ (3.1)

- Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan = $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$ (3.2)

- Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{\sum ni} \dots\dots\dots(3.3)$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \dots\dots\dots(3.4)$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - FK \dots\dots\dots(3.5)$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots\dots\dots(3.6)$$

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \dots\dots\dots(3.7)$$

- Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} \dots\dots\dots(3.8)$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \dots\dots\dots(3.9)$$

Tabel 3.3. Tabel Analisa Varian Satu Arah

Sumber Kevarianan	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKG	KTG		
Total	nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} .

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara komposisi ukuran butir *carbon black* (nm) terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam (Watt/m °C).
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara komposisi ukuran butir *carbon black* (nm) terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam. (Watt/m °C).

3.7.2. Analisa Statistik

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(3.10)$$

- Standar Deviasi

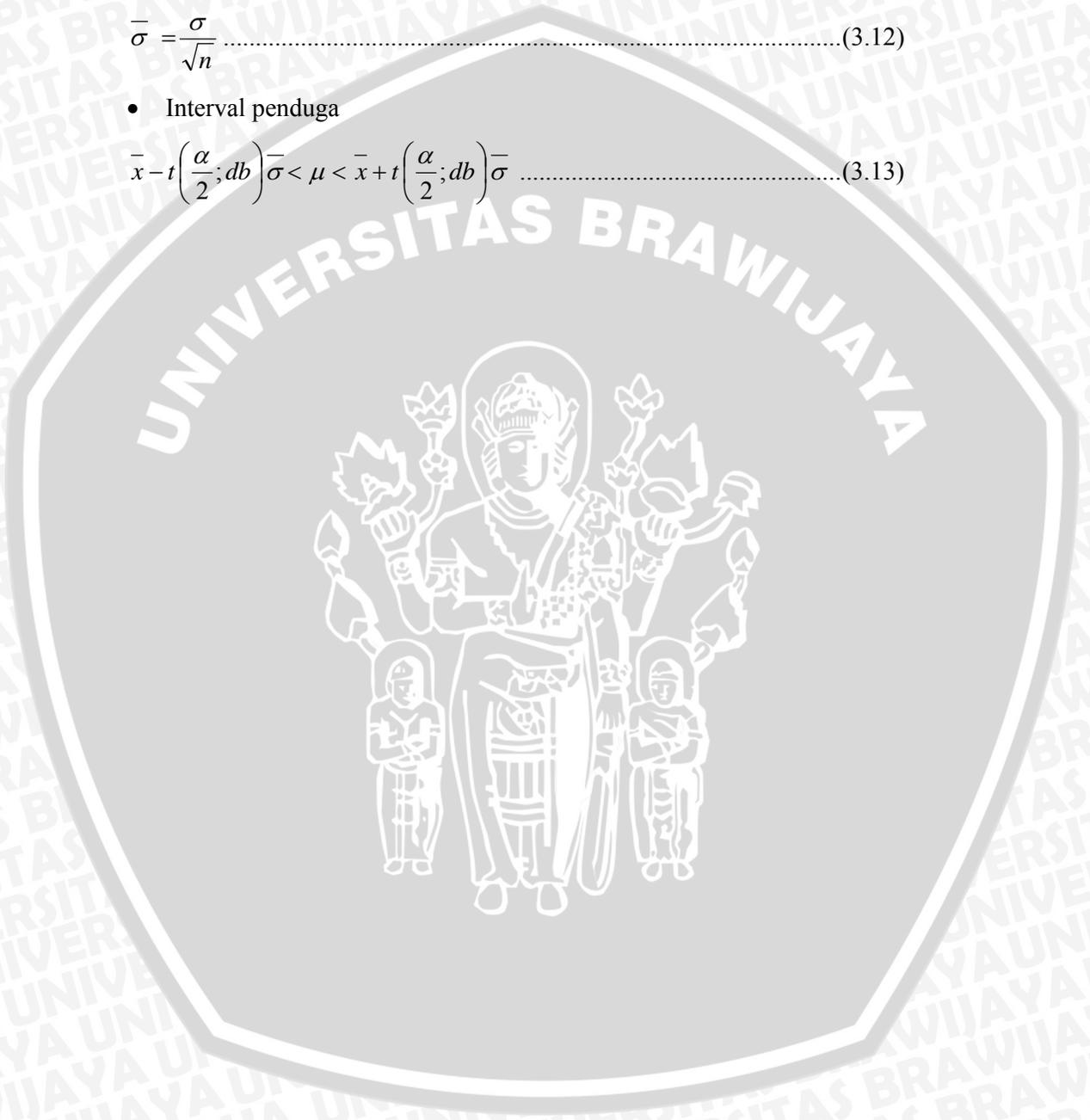
$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (3.11)$$

- Standar Deviasi rata-rata

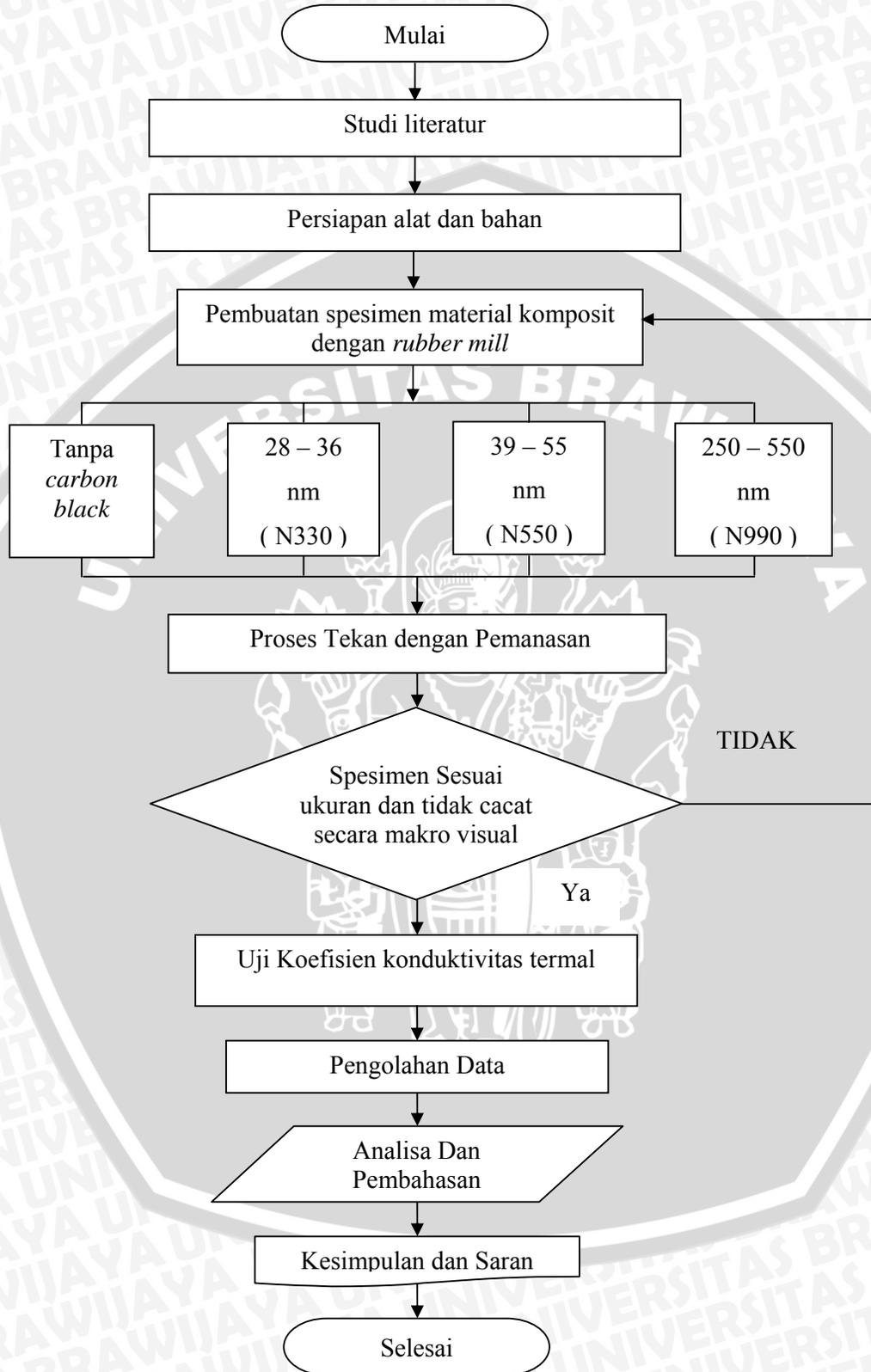
$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3.12)$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right)\bar{\sigma} \dots\dots\dots (3.13)$$



3.8. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 : Diagram alir penelitian

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji koefisien konduktivitas termal

4.1.1. Data hasil pengujian koefisien konduktivitas termal

Dari hasil pengujian koefisien konduktivitas termal yang dilakukan dengan menggunakan *thermal conductivity measuring apparatus* pada komposit karet alam dengan variasi ukuran butir *carbon black*, didapatkan data - data yang ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data nilai koefisien konduktivitas termal (Watt/m °C)

Perlakuan ulangan	Ukuran butir <i>carbon black</i> (nm)			
	Tanpa <i>carbon black</i>	28 – 36 (N330)	39 – 55 (N550)	250 – 550 (N990)
1	0.350062	0.5626	0.551348	0.54231
2	0.344593	0.742199	0.467244	0.451925
3	0.350062	0.648645	0.654142	0.451925
Jumlah	1.044717	1.953444	1.672734	1.446159
Rata-rata	0.348239	0.651148	0.557578	0.482053

CONTOH PERHITUNGAN :

Nilai koefisien konduktivitas termal spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 39 – 55 nm (N550) pengulangan ke 3.

Diketahui : Temperatur (°C) : $t_1 = 100$; $t_2 = 94$; $t_3 = 90$; $t_4 = 89$; $t_5 = 29$; $t_6 = 28$;
 $t_7 = 27$; $t_8 = 26$; $t_9 = 25$; $t_{10} = 25$

Koefisien konduktivitas termal Cu; $k_R = 320,00 \text{ cal/mh } ^\circ\text{C}$

Tebal spesimen $L_a = 2 \text{ mm}$

$L_b = 4 \text{ mm}$

$L_R = 27 \text{ mm}$

Gradien temperatur $\Delta t_a = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Delta t_b = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$

Dicari : $k = ?$

Jawab : $\Delta t_R = (\Delta t_{2-3} + \Delta t_{3-4} + \Delta t_{7-8} + \Delta t_{8-9} + \Delta t_{9-10})/5$
 $= (4+1+1+1+0)/5$
 $= 1,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$k_a = \frac{\Delta t_R \cdot L_a}{\Delta t_a \cdot L_R} \cdot k_R$$

$$= \frac{1,4 \times 2}{1 \times 27} \times 320$$

$$= 33,18519 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{k_b} - \frac{L_a}{k_a}}$$

$$= \frac{4 - 2}{\frac{4}{1,106173} - \frac{2}{33,18519}}$$

$$= 0,562461 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$$

$$\approx 0,654142 \text{ watt / m}^\circ\text{C}$$

$$k_b = \frac{\Delta t_R \cdot L_b}{\Delta t_b \cdot L_R} \cdot k_R$$

$$= \frac{1,4 \times 4}{60 \times 27} \times 320$$

$$= 1,106173 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$$

4.1.2. Analisa varian koefisien konduktivitas termal

Berdasarkan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap konduktivitas komposit karet alam. Hasil komposit karena pengaruh variasi ukuran butir dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$, maka hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$
Vs
 $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$

Perhitungan varian satu arahnya adalah sebagai berikut :

1. Jumlah Seluruh Perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 6,117055$$

2. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 = 3,304726$$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{\sum ni} = \frac{37,41836}{12} = 3,118197$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK = 3,304726 - 3,118197$$

$$= 0,186529$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$= \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - FK = \frac{9,796795}{3} - 3,118197$$

$$= 0,147402$$

6. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$= JKT - JKP = 0,186529 - 0,147402$$

$$= 0,039127$$

7. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$= \frac{JKP}{k-1} = \frac{0,147402}{4-1}$$

$$= 0,049134$$

8. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$= \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{0,039127}{4(3-1)}$$

$$= 0,004891$$

Sehingga F_{hitung} adalah :

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{0,049134}{0,004891}$$

$$= 10,04598$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) adalah 5 %, maka untuk $F_{tabel} [\alpha ; k-1 ; k(n-1)] = F_{tabel} [0,05 ; 3 ; 8]$ adalah 4,07. Dari perhitungan dapat dibuat tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2. Tabel analisa varian satu arah koefisien konduktivitas termal komposit

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	3	0,147402	0,049134	10,04598	4,07
Galat	8	0,039127	0,004891		
Total	11	0,186529			

Dari hasil perhitungan terlihat $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti bahwa ukuran butir *carbon black* sebagai *filler* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap koefisien konduktivitas termal komposit karet alam dengan resiko kesalahan 5 %.

4.1.3. Analisa statistik koefisien konduktivitas termal

Berikut ini salah satu contoh perhitungan statistik nilai koefisien konduktivitas termal untuk data spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 39 – 55 nm (N550) :

1. Data rata-rata (\bar{x}).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{1,672734}{3} = 0,557578$$

2. Standar deviasi (σ).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,132377}{2}} = 0,093104$$

3. Standar deviasi rata-rata ($\bar{\sigma}$).

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,093104}{\sqrt{3}} = 0,054043$$

4. Interval penduga rata - rata koefisien konduktivitas termal.

Derajat kebebasan (db) = n – 1 = 3 – 1 = 2

Dengan mengambil $\alpha = 5 \%$, maka $t(\frac{\alpha}{2}; db) = (0.025; 2) = 4,303$

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma}$$

$$0,557578 - (4,303 \times 0,054043) < \mu < 0,557578 + (4,303 \times 0,054043)$$

$$0,325033 < \mu < 0,790123$$

μ = koefisien konduktivitas termal, dari perhitungan $\mu = 0.557578$

Interval pendugaan rata - rata koefisien konduktivitas termal spesimen komposit karet alam dengan ukuran butir *carbon black* 39 – 55 nm (N550) adalah antara 0,325033 sampai dengan 0,790123 watt/m °C, dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan cara perhitungan yang sama maka dapat ditentukan interval dugaan rata - rata untuk spesimen dengan ukuran butir *carbon black* yang lain. Seperti yang terlihat pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3. Interval pendugaan rata - rata nilai koefisien konduktivitas termal

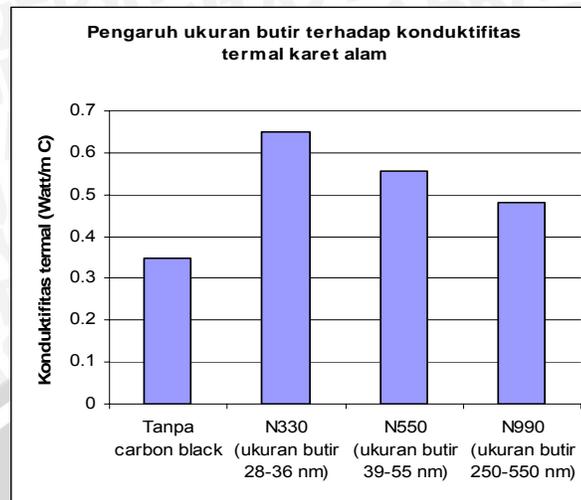
Ukuran Butir <i>carbon black</i> (nm)	Koefisien konduktivitas termal (watt/m °C)
Tanpa <i>carbon black</i>	$0,340394 < \mu < 0,356084$
28 – 36 (N330)	$0,42799 < \mu < 0,874306$
39 – 55 (N550)	$0,325033 < \mu < 0,790123$
250 – 550 (N990)	$0,352411 < \mu < 0,611695$

4.2. Grafik dan pembahasan

4.2.1. Analisa pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap koefisien konduktivitas termal karet alam

Berdasarkan hasil analisa varian satu arah seperti ditunjukkan pada tabel 4.2, nilai F_{hitung} lebih besar dari pada nilai F_{tabel} . Besarnya nilai F_{hitung} ini mengartikan bahwa dugaan awal sesuai dengan kenyataan hasil eksperimen yaitu ukuran butir *carbon black* akan mempengaruhi nilai koefisien konduktivitas termal komposit karet alam secara nyata.

Analisa interval penduga pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa data hasil pengujian koefisien konduktivitas termal untuk semua pengulangan, masuk diantara batasan maksimum dan minimum. Pendugaan rata - rata tersebut dapat diartikan bahwa data pengulangan adalah seragam dalam nilai koefisien konduktivitas termalnya. Analisa statistik ini menggunakan derajat kesalahan 5 %, berarti analisa yang dipakai memiliki tingkat keyakinan sebesar 95 %.



Gambar 4.1 : Grafik pengaruh ukuran butir *carbon black* terhadap koefisien konduktivitas termal komposit karet alam.

Gambar 4.1 menggambarkan kurva meningkat seiring menurunnya ukuran butir *carbon black*. Peningkatan kurva tersebut dapat diartikan bahwa dengan semakin kecil ukuran butir *carbon black* yang ditambahkan ke dalam karet alam, maka semakin tinggi nilai koefisien konduktivitas termal komposit karet alam tersebut. Penambahan *carbon black* dengan variasi ukuran butir dalam material komposit karet alam mampu meningkatkan nilai koefisien konduktivitas termal karet alam tersebut bila dibandingkan dengan tanpa penambahan *carbon black*. Nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen tanpa penambahan *carbon black*, yaitu sebesar 0,344593 W/m °C. Sedangkan untuk spesimen dengan penambahan *carbon black*, nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 250 – 550 nm (N990). Nilai koefisien konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 28 – 36 nm (N330), yaitu sebesar 0,742199 W/m °C.

Gambar 4.2 menunjukkan spesimen setelah uji koefisien konduktivitas termal pada temperatur 100 °C tidak hangus karena karet alam memiliki ketahanan panas sekitar 130 °C dan titik leleh *carbon black* adalah sebesar 3727 °C.



Gambar 4.2 : Material uji koefisien konduktivitas termal

Berdasarkan dasar teori yang ada bahwa nilai koefisien konduktivitas termal *carbon black* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai koefisien konduktivitas termal karet alam. Kecenderungan nilai koefisien konduktivitas termal meningkat dengan semakin menurunnya ukuran butir disebabkan semakin kecil ukuran butir *carbon black*, semakin besar nilai luas penampang butir yang bersinggungan sehingga cenderung lebih mudah berikatan dengan sesamanya dibandingkan dengan karet alam sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.3.

PARTICLE SIZE		pH		STRUCTURE	
DIAMETER m μ	SURFACE Acres / lb	VOLATILE %	pH	OIL ABSORPTION	STRUCTURE INDEX
275	1	15	25	LOW	60
80	4	2	70	NORMAL	100
10	29	0	110	HIGH	300

Gambar 4.3 : Karakteristik *carbon black*
Sumber : Morton, 1963 :197

Carbon black dengan ukuran butir yang lebih besar akan memberikan cukup banyak celah/rongga, sehingga panas yang masuk tidak dapat didistribusikan dengan baik oleh *carbon black*. Mekanisme konduksi pada *carbon black* dan karet alam adalah melalui mekanisme getaran kisi dimana panas merambat dengan cara menggetarkan atom - atom secara berurutan sehingga panas akan bertukar dari atom satu ke atom sebelahnya. Perpindahan panas dengan getaran kisi menghasilkan nilai koefisien

konduktivitas termal material yang sangat rendah. Indikasi yang bisa diamati dari mekanisme ini adalah besarnya perbedaan temperatur sebelum dengan sesudah melewati material.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan bahwa ukuran butir *carbon black* berpengaruh terhadap koefisien konduktivitas termal komposit karet alam. Penambahan *carbon black* memberikan efek penguatan positif terhadap koefisien konduktivitas termalnya. Hal ini ditunjukkan dengan :

- Nilai koefisien konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 28 – 36 nm (N330), yaitu sebesar 0,742199 W/m °C.
- Nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen tanpa penambahan *carbon black*, yaitu sebesar 0,344593 W/m °C. Sedangkan untuk spesimen dengan penambahan *carbon black* nilai koefisien konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen dengan ukuran butir *carbon black* 250 – 550 nm (N990), yaitu sebesar 0,541925 W/m °C.

5.2. Saran

1. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang reaktan pengikat komposit karet alam sehingga dapat meningkatkan nilai koefisien konduktivitas termalnya.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme aliran termal dalam komposit karet alam.
3. Pengukuran temperatur komposit dengan *thermocouple* mempunyai tingkat ketelitian 1 derajat. Perlu dilakukan penelitian dengan metode lain, dengan ketelitian temperatur lebih tinggi.
4. Pemakaian *filler* lain perlu diperhatikan lagi, agar didapatkan suatu komposit baru yang lebih berkualitas, hemat dan berguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Budinski, Kenneth G. 1996. *Engineering Material : Properties and Selection*. New Jersey : Prentice Hall.
- Hifni, H. M. 1993. *Metode Statistika*. Malang : Koperasi Mahasiswa Universitas Brawijaya.
- Holman, J. P. 1994. *Perpindahan Kalor : Edisi keenam*. Terjemahan E. Jasjfi. Jakarta : Erlangga.
- Jastzebski, Zbignew D. 1987. *The Nature and Properties of Engineering Material*. New York : John Wiley & Sons.
- Koestoer, R. A. 2002. *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta : Salemba Teknika
- Kreith, Frank. 1997 . *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta : Erlangga.
- Matthew, F. L and Rawlings, R. D. 1994. *Composites Materials : Engineering And Science*, Chapman & Hall, London.
- McPherson, A. T. 1956. *Engineering Uses of Rubber*. New York : Reinhold Publishing Corporation.
- Morton, Maurice. 1963. *Introduction to Rubber Technology*. New York : Reinhold Publishing Corporation.
- Nazzarudin. 1992. *Seri Agribisnis Karet*. Jakarta : PT. Penebar Swadaya
- Schwartz. 1996. *Composites Material : Properties, Nondestructive Testing, and Repair*. New Jersey. Prentice Hall.
- Siswoputranto. P. S. 1981. *Perkembangan Karet Internasional*. Jakarta : LEPPENAS
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Suryasanti, Bose. 2004. *Effect of Particle Size of Filler on Nylon-6*. India. http://www.imp.mtu.edu/jmmce/issue3-1/P31_3.pdf
- Wardhana, Wingga. Kusuma. 2006. *Pengaruh Fraksi Volume Kalsium Karbonat terhadap Kekerasan dan Konduktivitas Termal Komposit Poliester*. Malang : Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Chuayjuljit, Saowaroj. 2002. *Effects of Particle Size and Amount of Carbon Black and Calcium Carbonate on Curing Characteristics and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber*. Chula Univ. <http://www.material.chula.ac.th/journal/NewJournal/V12-1/51-57%20Chuayjuljit.pdf>

http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black

http://www.reade.com/Products/Carbons/carbon_black.html



Lampiran 1. Peralatan, bahan dan proses pembuatan komposit karet



Carbon black N330



Karet alam jenis RSS-1



Carbon black N550



Bahan kimia



Carbon black N990



Cetakan



Proses awal



Pembentukan dalam lembaran



Proses mastikasi



Karet siap untuk dicetak



Dicampur dengan bahan kimia



Proses pencetakan karet



Proses akhir



Karet setelah dicetak

Lampiran 2. Foto spesimen uji koefisien konduktivitas termal dengan variasi ukuran butir *carbon black* sebelum diuji.



Lampiran 3. Tabel distribusi F

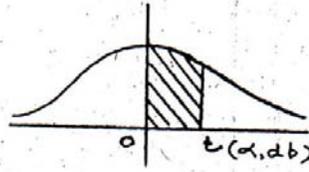
TABEL F UNTUK $\alpha = 5\%$

V1 \ V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.85	5.80	5.75	5.72	5.69	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.70	2.66	2.62	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.13
15	4.45	3.58	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.88
25	4.24	3.39	2.99	2.75	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.45	1.39	1.32	1.22

Sumber : Hifni, H. M, 1993.

Lampiran 4. Tabel T

TABEL - T



dh	α	0,05	0,01	0,025	0,05	0,10
1		63.657	31.821	12.706	6.314	3.078
2		9.925	6.965	4.303	2.920	1.886
3		5.841	4.541	3.182	2.353	1.638
4		4.604	3.747	2.776	2.132	1.533
5		4.032	3.365	2.571	2.015	1.476
6		3.707	3.143	2.447	1.943	1.440
7		3.499	2.998	2.365	1.895	1.415
8		3.355	2.896	2.306	1.860	1.397
9		3.250	2.821	2.262	1.833	1.383
10		3.169	2.764	2.228	1.812	1.372
11		3.106	2.718	2.201	1.796	1.363
12		3.055	2.681	2.179	1.796	1.363
13		3.0122	2.650	2.160	1.771	1.350
14		2.977	2.624	2.145	1.761	1.341
15		2.947	2.602	2.131	1.753	1.341
16		2.921	2.583	2.120	1.746	1.337
17		2.898	2.567	2.110	1.740	1.333
18		2.878	2.552	2.101	1.734	1.330
19		2.861	2.539	2.093	1.729	1.328
20		2.845	2.528	2.086	1.725	1.325
21		2.831	2.518	2.080	1.721	1.323
22		2.819	2.508	2.074	1.717	1.321
23		2.807	2.500	2.069	1.714	1.319
24		2.797	2.492	2.064	1.711	1.318
25		2.787	2.485	2.060	1.708	1.316
26		2.779	2.479	2.056	1.706	1.315
27		2.771	2.473	2.052	1.703	1.314
28		2.763	2.467	2.048	1.701	1.313
29		2.756	2.462	2.045	1.699	1.311
30		2.750	2.457	2.042	1.698	1.310
40		2.704	2.423	2.021	1.684	1.303
60		2.660	2.390	2.000	1.671	1.296
100		2.617	2.358	1.980	1.658	1.289
		2.576	2.326	1.960	1.645	1.282

Sumber : Hifni, H. M, 1993.



**LABORATORIUM FENOMENA DASAR MESIN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN**

EXPERIMENT REPORT THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING APPARATUS



Experiment : Effect grade of carbon black in thermal conductivity of natural rubber composite

Material	SPECIMEN	
	Natural Rubber Composite	Cu
Diameter	40 mm	40 mm
Thickness	$L_d = 2 \text{ mm}$; $L_s = 4 \text{ mm}$	$L_s = 30 \text{ mm}$
Thermal conductivity	$\Lambda =$	$\Lambda_a = 320 \text{ Kcal/mh } ^\circ\text{C}$

Grade of carbon black	Measurement		Temperature (°C)										
	Review	Heater Temperature	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	
None	1	100	95	93	92	28	27	26	26	26	25	25	
	2	100	95	93	92	27	27	26	26	25	25	25	
	3	100	95	94	92	28	27	26	26	25	25	25	
N330	1	100	93	90	89	33	32	25	25	25	24	24	
	2	100	94	90	89	32	31	26	25	25	24	24	
	3	100	94	91	90	33	32	26	26	25	24	24	
N550	1	100	94	90	89	28	27	26	26	26	25	24	
	2	100	93	91	89	28	27	25	25	25	24	24	
	3	100	94	90	89	29	28	27	26	25	25	24	
N990	1	100	94	90	89	27	26	25	25	25	24	24	
	2	100	94	91	90	28	26	25	25	24	24	24	
	3	100	93	91	89	27	27	26	26	25	25	25	



Malang, 25 Juni 2006

Waka.Lab Laboratorium Fenomena Dasar Mesin

Ekowiswanto, ST, MT

NIP 132 206 463 2012

Lampiran 6. Surat keterangan bebas laboratorium



LABORATORIUM FENOMENA DASAR MESIN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Jl. MT Haryono 167 Malang – Jawa Timur
Telp. (0341) 553286 pes. 215, (0341) 569103 Fax. (0341) 554291

**SURAT KETERANGAN**

Yang bertandatangan di bawah ini, Kepala Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya menerangkan bahwa mahasiswa di bawah ini :

Nama : Aneng Wicaksono
NIM : 0210620014
Waktu Pengujian : Mei – Juni 2007

Telah melakukan pengujian konduktivitas termal sehubungan dengan tugas akhir yang disusunnya, di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan hasil terlampir.

Demikian surat keterangan ini diberikan agar dipergunakan sebagaimana mestinya oleh mahasiswa yang bersangkutan.

Malang, 25 Juni 2007
Wakil Kepala Lab. Fenomena Dasar Mesin




Eko Siswanto, ST, MT
NIP. 132 206 463