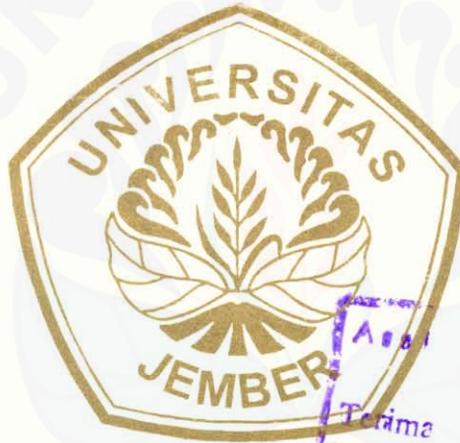




**PENGAJIAN SIFAT KONDUKTIVITAS PANAS
POLIESTER DENGAN BAHAN PENGISI
Al₂O₃ DAN CaCO₃**

SKRIPSI

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember*



Oleh :

Moch. Itham Kurniawan

NIM : 971810201097

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2003**

MOTTO

Seringkali aku lari dari masalah, kepada teman, tempat, benda, mencari-cari kekuatan, kedamaian, dan arti hidup. Sambil kulupa bahwa sumber semua itu berada dalam diriku.

Disitulah seharusnya aku mencari !

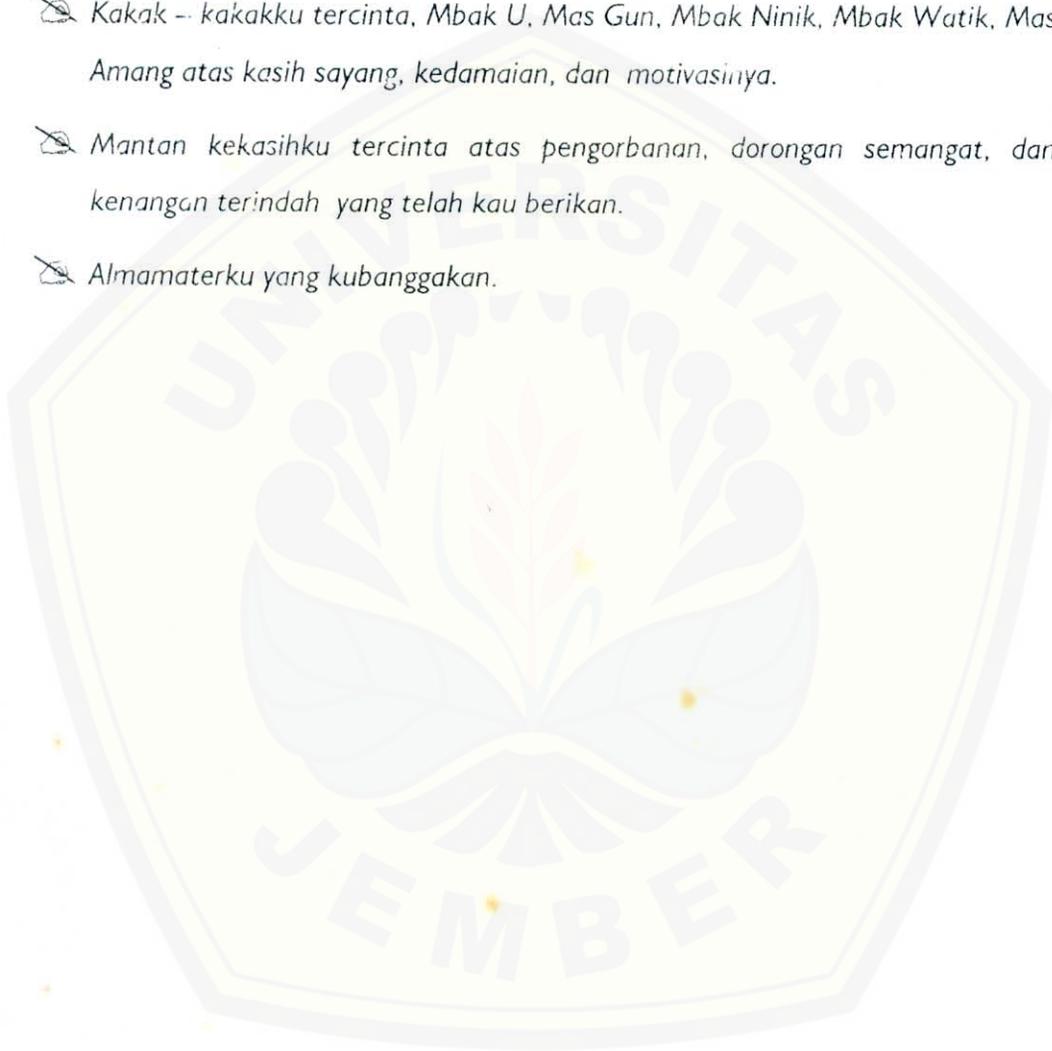
(Ilham , Juni 2003)

“... Cukuplah Allah menjadi penolong dan Dia adalah sebaik-baiknya pelindung”.

(QS Ali 'Imron [3] : 173)

Kupersembahkan Karya Ilmiah Tertulis Ini Untuk :

- Bapakku Saleh Nur Suseno tercinta dari Ibukku Khususiyah atas kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan selama ini.
- Kakak – kakakku tercinta, Mbak U, Mas Gun, Mbak Ninik, Mbak Watik, Mas Amang atas kasih sayang, kedamaian, dan motivasinya.
- Mantan kekasihku tercinta atas pengorbanan, dorongan semangat, dan kenangan terindah yang telah kau berikan.
- Almamaterku yang kubanggakan.



DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan Pebruari 2003 sampai dengan bulan Mei 2003 di jurusan Fisika Fakultas.MIPA Universitas Jember dan jurusan Fisika Fakultas MIPA ITS. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Juni 2003

Moch. Ilham Kurniawan



HALAMAN PENGESAHAN

Karya tulis (skripsi) ini telah dipertahankan di depan tim penguji dan diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

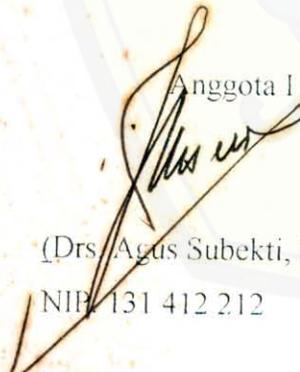
Hari : SABTU
Tanggal : 28 JULI 2009
Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji

Ketua(Dosen Pembimbing Utama) Sekretaris(Dosen Pembimbing Anggota)


(Prantasi H. Tj, M. Si)
NIP.132 164 505


(Bambang P, M. Si)
NIP. 132 164 055


Anggota I
(Drs/Agus Subekti, M.Sc., Ph. D)
NIP.131 412 212


Anggota II
(Sutisna, M. Si)
NIP. 132 257 929

Mengesahkan

Dekan Fakultas MIPA UNEJ




(Ir. Sumadi, M. Si.)

NIP.130 368 784

ABSTRAK

Pengkajian Sifat Konduktivitas Panas Poliester dengan Bahan Pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 , Moch. Ilham Kurniawan, 971810201097, Skripsi, 23 Juni 2003, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember.

Poliester tak jenuh atau disebut dengan poliester saja merupakan polimer sintesis serbaguna karena dapat diaplikasikan secara komersil. Bahan poliester biasanya ditambahkan bahan pengisi berupa penguatan serat dan gelas. Pada penelitian kali ini bahan poliester ditambahkan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 dengan cara cetak manual untuk diuji sifat konduktivitas panasnya (k), hasil uji konduktivitas panas tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 terhadap konduktivitas panas pada polimer poliester. Penambahan bahan pengisi dilakukan dengan cara memvariasikan fraksi volume pengisi 10% - 25%. Dari hasil pengukuran dengan alat *Termal Conductivity* didapat gradien suhu bahan uji, nilai konduktivitas panas didapatkan dari hasil perhitungan. Data hasil pengujian konduktivitas panas menunjukkan bahwa nilai konduktivitas panas poliester meningkat sebanding dengan fraksi volume bahan pengisi. Bahan poliester yang diisi CaCO_3 memiliki rata-rata nilai konduktivitas panas yang lebih tinggi daripada nilai konduktivitas panas poliester yang diisi Al_2O_3 .

Kata kunci : poliester, konduktivitas panas (k), gradien suhu, fraksi volume

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan ucapan Alhamdulillahirobbil alamin penulis ucapkan kepada-Nya yang telah melimpahkan taufiq dan hidayah-Nya hingga terselesaikannya tugas akhir II yang berjudul : "Pengkajian Konduktivitas Panas Pada Bahan Poliester dengan Pengisi Al_2O_3 dan $CaCO_3$ ", selain itu juga dalam penyusunan kali ini penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada Ibu Prantasi H. Tj, M.Si selaku dosen pembimbing utama (DPU) atas bimbingan dan waktunya hingga terselesaikannya TA II ini.
2. Kepada Bapak Bambang P, M.Si selaku pembimbing (DPA) yang juga memberikan bimbingan dan waktunya demi kelancaran TA II ini.
3. Kepada Bapak Ketua Jurusan Fisika F. MIPA yang telah membantu kelancaran TA II.
4. Kepada Bapak Dekan F. MIPA atas birokrasi yang membantu TA II.
5. Kepada Ketua Jurusan Fisika F. MIPA ITS, Ketua Lab. Madya dan Teknisi Lab. Madya ITS yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian di ITS.
6. Kepada keluarga Bapak Dasin yang telah memberikan bimbingan dan tempat berteduh untukku.
7. Sahabat-sahabatku di Lembah Brantas atas kenangan indah bersama selama ini.
8. Kepada semua rekan-rekan mahasiswa Fisika atas dorongan semangat.
9. Kepada semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya TA II ini.

Mudah – mudahan apa yang telah diberikan kepada penulis dapat mendapat imbalan dari Allah SWT . Amien.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan ini masih jauh dari kesempurnaan, dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan TA II ini.

Jember, Juni 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
DEKLARASI	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Polimer	4
2.2 Poliester	4
2.3 Bahan pengisi	5
2.3.1 Al ₂ O ₃ (Alumina).....	5
2.3.2 CaCO ₃ (Kalsium Karbonat).....	6
2.4 Hantaran Kalor (<i>Heat Conduction</i>)	7
2.5 Konduktivitas Panas	8
2.6 Struktur 3 Bahan yang Berbeda Nilai konduktivitas panasnya (k)	9
2.7 Model Konduktivitas Panas Seri-Pararel	14

2.7.1 Persamaan Umum Model Konduktivitas Seri-Paralel.....	14
2.7.2 Model Konduktivitas Paralel.....	14
2.7.3 Model Konduktivitas Seri.....	15
2.8 Teori Pengukuran Konduktivitas Panas.....	17
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu.....	19
3.2 Prosedur Penelitian	19
3.3 Bahan dan Alat yang Digunakan	20
3.4 Eksperimen	20
3.4.1 Komposisi Bahan Uji.....	20
3.4.2 Penentuan Kerapatan (<i>Density</i>)Bahan Uji.....	21
3.4.3 Penentuan Fraksi Volume.....	22
3.4.4 Proses Cetak Manual.....	23
4.5 Peralatan Uji Konduktivitas Panas.....	24
IV. PEMBAHASAN	26
4.1 Kerapatan Bahan	26
4.2 Volume dan Massa.....	26
4.3 Konduktivitas Panas.....	28
4.4 Koefisien C_1 dan C_2	34
4.5 Analisa Hasil.....	34
4.5.1 Analisa Bahan Uji.....	35
V. KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran.....	36
Daftar Pustaka	37
Lampiran A.....	39
Lampiran B.....	41
Lampiran C.....	43

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Distribusi suhu konduksi keadaan tetap melalui dinding data..	8
2. Gambar 2.2 Distribusi suhu rangkaian termal untuk aliran kalor melalui - dinding datar komposit seri.....	12
3. Gambar 2.3 Model konduktivitas panas paralel.....	14
4. Gambar 2.4 Model konduktivitas panas seri.....	15
5. Gambar 3.1 Diagram prosedur penelitian.....	19
6. Gambar 3.2 Cetakan yang digunakan untuk proses pembentukan spesimen - komposit.....	23
7. Gambar 3.3 Bentuk peralatan uji konduktivitas panas.....	25
8. Gambar 4.1 Contoh spesimen 1) poliester murni 2) poliester + CaCO_3 3) - poliester + Al_2O_3	27
9. Gambar 4.2 Grafik gradien suhu poliester murni.....	30
10. Gambar 4.3 Grafik gradien suhu poliester + CaCO_3	31
11. Gambar 4.4 Grafik gradien suhu poliester + Al_2O_3	32
12. Gambar 4.5 Grafik konduktivitas panas bahan poliester murni, poliester + Al_2O_3 ,poliester + CaCO_3	33

DARTAR TABEL

1. Tabel 2.1 Sifat mekanik dan sifat fisika poliester	5
2. Tabel 2.2 Beberapa sifat mekanik dan sifat fisika Al_2O_3	6
3. Tabel 3.1 Besarnya komposisi bahan uji	20
4. Tabel 4.1 Kerapatan hasil pengukuran dan literatur	26
5. Tabel 4.2 Besarnya komposisi bahan	27
6. Tabel 4.3 Data pengukuran suhu untuk bahan poliester, poliester + $CaCO_3$, poliester + Al_2O_3	29
7. Tabel 4.4 Konduktivitas panas poliester, poliester + $CaCO_3$, poliester + Al_2O_3	33
8. Tabel 4.5 Koefisien C_1 dan C_2	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan polimer sampai sekarang ini sangat pesat, khususnya di bidang industri. Berbagai penelitian dilakukan oleh para ilmuwan dengan bermacam cara untuk mendapatkan struktur dan sifat-sifat unggul dalam upaya untuk mengkonversi polimer menjadi bahan komersil yang bermanfaat pada berbagai macam aplikasi. Bahan polimer relatif murah dan mudah dibentuk dalam pemrosesannya, sehingga menjadi salah satu alternatif pengganti logam dan kayu (Djaprie, 1997). Karena itu perlu dilakukan penelitian dibidang polimer terutama pada struktur dan sifat-sifat fisika.

Salah satu sifat fisika yang menarik untuk diteliti adalah nilai konstanta dari hantaran panas (*heat conduction*) yang disebut **konduktivitas panas (k)**. Berbagai modifikasi penelitian untuk memperbaiki sifat konduktivitas panas telah dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Fricke dkk. (1979) melakukan variasi konduktivitas panas pada polimer **poliester tak jenuh** (yang biasa disebut dengan **poliester** saja), dengan tiga perlakuan pada bahan uji yaitu : pemanasan (90°C selama 3 jam), pemanasan $70\text{-}80^{\circ}\text{C}$ selama 2-3 jam, dan tanpa pemanasan. Diperoleh hasil konduktivitas panas meningkat sebesar $4,5 \cdot 10^{-4}$ kal/cm.s. $^{\circ}\text{C}$ pada 40°C sampai $5,0 \cdot 10^{-4}$ kal/cm.s. $^{\circ}\text{C}$ pada 94°C .

Agari dan Uno (1986) melakukan penelitian tentang model konduktivitas panas dan kapasitas panas menggunakan sistem dua fasa atau 2 jenis bahan. Percobaan tersebut menambahkan bahan pengisi berupa grafit, tembaga, Al_2O_3 pada masing-masing bahan polimer. Bahan polimernya adalah *polyethylene*, *polystyrene*, dan *polyamida*. Pada eksperimen ini fraksi volume pengisi di variasi dari 10% hingga 30%. Hasil yang diperoleh menunjukkan konduktivitas panas komposit meningkat sebanding dengan besar fraksi volume pengisi yang ditambahkan.

Ariyani (1991) melakukan analisis sifat konduktivitas panas bahan polietilen (LDPE dan HDPE) dengan bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 dengan menggunakan fraksi volume bahan pengisi 5 % hingga 35 %. Hasil yang diperoleh juga menunjukkan konduktivitas panas meningkat mengikuti besarnya fraksi volume bahan pengisi.

Berdasarkan latar belakang di atas maka pada tugas akhir ini akan dikaji pengaruh bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 dengan variasi fraksi volume yang ditentukan terhadap bahan poliester. Teori poliester konduktivitas panas akan dijelaskan pada bab II. Sedangkan metode pembuatan bahan uji, teori pengukuran kerapatan hingga pengukuran konduktivitas panas dibahas pada bab III. Bab IV menyajikan tentang hasil dan analisa data, sedangkan pada bab V adalah kesimpulan dan saran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dan latar belakang di atas, maka permasalahan yang diambil dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh komposisi bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 terhadap konduktivitas panas poliester.
2. Bahan pengisi (Al_2O_3 dan CaCO_3) manakah yang lebih optimal dalam meningkatkan konduktivitas panas poliester.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh dari bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 terhadap konduktivitas panas pada polimer poliester.

1.4 Manfaat Penelitian

Mengacu pada tujuan penelitian di atas, maka hasil penelitian ini diharapkan memberikan masukan dan manfaat bagi:

1. Mahasiswa , sebagai bahan bacaan untuk menambah pengetahuan mengenai sifat fisika polimer khususnya konduktivitas panas.
2. Studi awal sifat fisika polimer dan pengembangannya dalam aplikasi pembuatan bahan baru.





II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

Salah Satu golongan bahan yang penting dalam kehidupan sehari-hari diantaranya adalah polimer. Polimer tersusun atas banyak sekali bahkan sampai ribuan molekul kecil yang disebut dengan monomer. Susunan monomer yang sejenis yang kemudian tersusun menjadi suatu polimer disebut homopolimer dan yang tersusun dari dua jenis atau lebih disebut kopolimer (Sopyan, 2001).

Pada umumnya polimer sering disebut sebagai plastik. Penggolongan polimer berdasarkan sifat panasnya dibedakan atas termoplastik dan termoset. Termoplastik adalah jenis polimer yang melunak jika dipanaskan dan dapat dibentuk ulang contohnya : phenol, resin amino, epoksida, dan resin furan. Sedangkan jenis termoset adalah jenis yang akan berubah sifatnya setelah diberikan panas dan tidak dapat dibentuk ulang contohnya : selulosa, polisteren, polietilen, polipropilen, poliamida, Poliester tak jenuh dan nilon (Djaprie, 1997).

Dengan melakukan modifikasi pada polimer para ilmuwan berusaha mewujudkan berbagai produk yang dapat bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari. Produk yang dimaksud diantaranya adalah produk polimer yang dapat terurai di alam, polimer konduktif atau polimer yang dapat menghantarkan arus listrik hingga polimer teknik yang dirancang untuk menggantikan logam (Sopyan, 2001).

2.2 Poliester

Kemajuan pada bidang bahan terutama di bidang polimer terjadi dengan cepat. Para ilmuwan telah melakukan berbagai macam pengembangan diantaranya adalah pembuatan dengan cara sintesis. Poliester ini termasuk dalam polimer yang tidak dapat didaur ulang dan termasuk kelompok termoset. Poliester sejauh ini telah dapat diaplikasi secara komersil dengan ditambahkan bahan pengisi berupa

serat, dan gelas. Resin poliester biasanya berupa cairan kental yang dikeraskan dengan bantuan katalis (Skrifvars, 2000). Pada tabel 2.1 berikut ini memperlihatkan beberapa sifat fisika dan mekanik poliester.

Tabel 2.1 Sifat mekanik dan sifat fisika poliester
(P. T. Justus Sakti Raya , 1995)

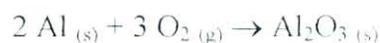
Sifat	Nilai	Satuan
-Density	1.04 – 1.46	gr/cm ³
-Tensile Modulus	300 – 640	(Gpa)
-Thermal Conductivity	0.19	W/m-K
-Electronical Resistivity	10 ¹²	Ω-m
-Water Absorbtion (room temp.)	0.188 % 24 jam 0.466 % 7hari	

2.3 Bahan Pengisi

Bahan pengisi adalah bahan yang ditambahkan pada bahan dasar polimer untuk meningkatkan kemampuan pemrosesan atau untuk meningkatkan kualitas dan sifat produksi (Callister, 1985).

2.3.1 Al₂O₃ (Alumina)

Aluminium oksida ini sudah lama dikomersialkan, banyak digunakan sebagai bahan pelapis logam karena aluminium oksida ini mempunyai sifat menghambat terjadinya oksidasi logam,



dimana g = gas . s = padat, oksigen di udara mengubah Al menjadi Al₂O₃ (Petrucci, 1987).

Beberapa sifat fisika dan sifat mekanik dari Al_2O_3 disajikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Beberapa sifat mekanik dan sifat fisika Al_2O_3 (Callister, 1985)

Sifat fisika /mekanik	Nilai	Satuan
-Density	3.97 - 4	gr /cm ³
-Modulus Elasticity	57	(Gpa)
- Electrical Of Resistivity	>10 ¹²	Ω-m
-Thermal Conductivity	30	Watt/m.K
	7.91	cal/cm s °C
-Melting Temperature or Range	2050	°C

2.3.2 $CaCO_3$ (Kalsium Karbonat)

Bahan kalsium karbonat ini berupa serbuk halus (butirannya halus) dan berwarna putih, sedikit larut dalam air, kalsium karbonat akan terurai bila diberikan pemanasan yaitu berupa kalsium oksida atau kapur tohor dan karbon dioksida,



Senyawa ini dijumpai di alam sebagai mineral. Batuan mengandung kalsium karbonat larut perlahan-lahan dalam air hujan dan mengakibatkan kesadahan sementara. Di laboratorium kalsium karbonat ini digunakan sebagai bahan pembuatan kapur (John, 1997).

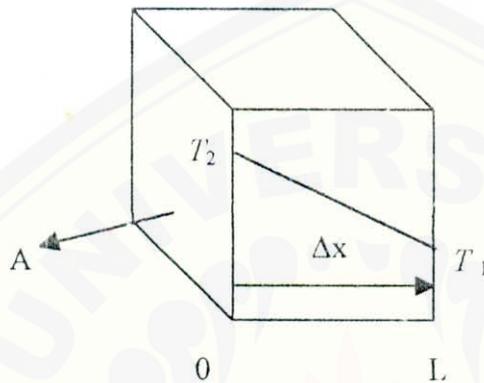
2.4 Hantaran Kalor (*Heat Conduction*)

Hantaran kalor didefinisikan sebagai perpindahan energi (ΔQ) yang ditimbulkan perbedaan temperatur diantara bagian-bagian yang berdekatan dari sebuah benda. Proses perpindahan energi ini berlangsung di dalam suatu medium, baik padat, cair, gas ataupun antara medium-medium berlainan yang bersinggungan secara langsung, misalnya energi yang mengalir antara medium padat dengan gas atau padat dengan cair atau cair dengan gas asalkan bersinggungan langsung.

Salah satu cara sebuah molekul menyimpan energi adalah dalam bentuk energi kinetik. Jika dihubungkan teori kinetik dapat dijelaskan bahwa suhu elemen suatu zat adalah sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Jika ditambahkan sejumlah energi panas tertentu pada satu daerah maka molekul-molekul daerah itu bergerak semakin cepat, molekul-molekul daerah tersebut mendapatkan energi kinetik rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan daerah lain yang berdekatan. Molekul-molekul yang memiliki energi kinetik yang lebih besar itu akan memberikan sebagian energinya kepada daerah yang memiliki energi kinetik yang lebih rendah ditandai dengan adanya perbedaan suhu dan peristiwa ini dapat berlangsung melalui tumbukan elastik (pada fonon). Dari hal di atas menunjukkan bahwa syarat terjadinya aliran konduksi adalah adanya perbedaan suhu sehingga akan terjadi aliran kalor dari daerah yang bersuhu tinggi menuju daerah yang bersuhu rendah (Priyono, 1997).

2.5 Konduktivitas Panas

Perhatikan gambar 2.1 sebuah lempeng bahan dengan luas penampang A dan tebalnya Δx ($0 - L$) mempunyai 2 sisi yang berbeda temperaturnya (dengan $T_2 > T_1$).



Gambar 2.1 Distribusi suhu konduksi keadaan tetap melalui dinding datar.

Energi ΔQ yang mengalir di dalam arah tegak lurus pada permukaan dimana perubahan tersebut selama waktu Δt , ditunjukkan dengan persamaan

$$\Delta Q \approx \Delta t A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan ΔT adalah perbedaan temperatur,

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} \approx A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Perpindahan kalor dengan cara konduksi diperkenalkan pertama kali oleh ilmuwan Perancis J.B.J Fourier pada tahun 1822, menyatakan bahwa q sebagai laju aliran panas dengan cara konduksi dalam satu satuan bahan adalah sama dengan hasil kali tiga buah besaran yaitu :

1. k , konduktivitas panas ($J/m \cdot j \cdot ^\circ C$).
2. A , luas penampang dimana kalor mengalir dengan cara konduksi (m^2).
3. dT/dx , adalah gradien suhu pada penampang bahan, yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran x ($^\circ C/m$).

Pengaruh tiga buah besaran dinyatakan dalam bentuk persamaan konduksi satu-dimensi keadaan tetap sebagai berikut :

$$H = q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.3)$$

persamaan 2.2 analog dengan persamaan 2.3, sehingga menjadi

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana

$\Delta Q/\Delta t = H =$ aliran kalor (energi panas) (J/s)

$dT/dx =$ gradien suhu ($^\circ C/m$)

$A =$ luas penampang dinding (m^2)

$k =$ konduktivitas panas (konstanta perbandingan) ($J/s \cdot m \cdot ^\circ C$).

Dipilih jarak aliran kalor sebagai arah pertambahan x , karena kalor mengalir di dalam arah T yang semakin berkurang, sehingga disisipkan tanda (-) dalam persamaan 2.4, agar diperoleh harga H yang (+), bila dT/dx adalah (-) (Priyono, 1997: 3).

Pada keadaan sederhana (lihat gambar 2.1), dimana aliran panas pada keadaan *steady state* (tetap/tunak), gradien temperatur dan aliran tidak bertambah dengan waktu sepanjang lintasan aliran panas dengan penampang sama, maka persamaan 2.4 menjadi

$$\frac{q}{A} \int_0^L dx = - \int_{T_2}^{T_1} k dT$$

$$\frac{q}{A} L = - k (T_1 - T_2)$$

$$\frac{q}{A} L = k (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.5)$$

$T_2 \geq T_1$

$$\frac{q}{A} L = k \Delta T$$

$$q = \frac{k A}{L} \Delta T \dots\dots\dots(2.6)$$

$$q = \frac{1}{L/Ak} \Delta T \dots\dots\dots(2.7)$$

Perumusan 2.7 dapat dianalogikan dengan konduktivitas listrik maka $L/Ak = R$ atau L/Ak setara dengan tahanan panas (*thermal resistance*) R_k dan $\Delta T = \Delta V$ atau potensial listrik setara dengan potensial suhu sehingga diperoleh perumusan

$$q = \frac{\Delta T}{L/Ak} \approx I = \frac{\Delta V}{R} \dots\dots\dots(2.8)$$

sehingga

$$q = \frac{\Delta T}{R} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana resistivitas dirumuskan :

$$R_k = \frac{L}{Ak} \dots\dots\dots(2.10)$$

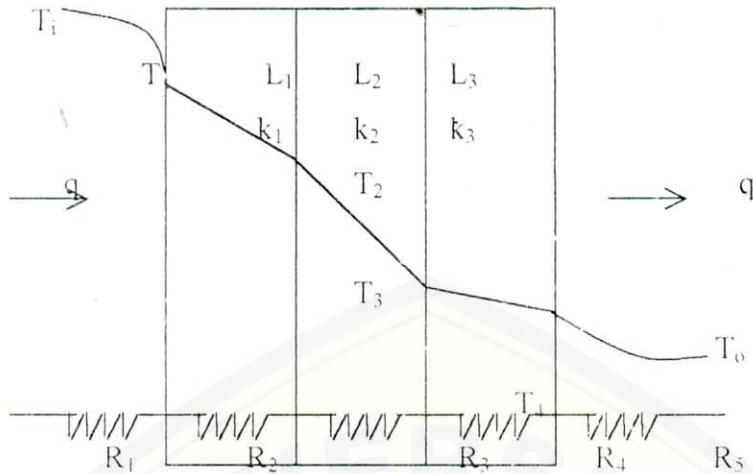
dengan catatan bahwa R adalah tahanan panas dan kebalikan dari persamaan di atas disebut konduktansi panas (*thermal conductance*) dirumuskan seperti di bawah ini (Priyono, 1997).

$$K = \frac{Ak}{L} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.6 Struktur 3 Bahan yang Berbeda Nilai konduktivitas panasnya (k)

Aliran kalor yang melintasi struktur bahan komposit (campuran) biasanya berubah dalam tahap-tahap melalui sejumlah bagian yang berbeda yang dihubungkan secara seri dan untuk bagian tertentu dalam sistem tersebut seringkali dihubungkan secara paralel.

Cara umum menganalisis aliran energi yang melintasi struktur bahan komposit dalam satu dimensi diterapkan secara praktis dengan mengasumsikan bahwa pada satu sisi yang bersinggungan dengan medium bersuhu tinggi (sumber kalor) suhunya konstan. Sedangkan pada sisi lainnya, sistem bersinggungan dengan medium yang bersuhu rendah, suhunya juga konstan. Pada suatu permukaan tertentu, konduktansi permukaan antara medium dan permukaan dianggap konstan. Contohnya, pada permukaan bahan campuran yang terdiri dari lapisan-lapisan yang bersinggungan dengan bahan berlainan yang susunannya seperti batu merah, diperlihatkan pada gambar 2.2. Lapisan luar bersuhu T_1 dan konduktansi permukaan sebelah dalam bersuhu T_0 .



Gambar 2.2 Distribusi suhu rangkaian termal untuk aliran kalor melalui dinding datar komposit seri

Syarat terjadi aliran kalor pada dinding ke sekitarnya adalah adanya perbedaan suhu yang rendah (\$T_0\$) dan suhu tinggi (\$T_1\$). Aliran kalor secara terus menerus dari permukaan pertama sampai dinding terakhir melalui suatu luasan \$A\$ yang sama besarnya dengan dinding yang lain, ditunjukkan pada persamaan 2.12

$$q = \frac{k_1 A}{L_1} (T_1 - T_2) = \frac{k_2 A}{L_2} (T_2 - T_3) = \frac{k_3 A}{L_3} (T_3 - T_4) \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

- (\$T_1 - T_2\$) = suhu komposit dengan ketebalan \$L_1\$
- (\$T_2 - T_3\$) = suhu komposit dengan ketebalan \$L_2\$
- (\$T_3 - T_4\$) = suhu komposit dengan ketebalan \$L_3\$
- \$k_1\$ = konduktivitas panas komposit dengan ketebalan \$L_1\$
- \$k_2\$ = konduktivitas panas komposit dengan ketebalan \$L_2\$
- \$k_3\$ = konduktivitas panas komposit dengan ketebalan \$L_3\$
- \$L_1\$ = ketebalan komposit 1
- \$L_2\$ = ketebalan komposit 2
- \$L_3\$ = ketebalan komposit 3
- \$A\$ = luas dinding komposit.

Persamaan 2.12 dapat dituliskan dalam fungsi hambatan-hambatan panas dari berbagai bagian dinding, dan dirumuskan :

$$q = \frac{T_i - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{T_3 - T_4}{R_4} = \frac{T_4 - T_o}{R_5} \dots\dots\dots(2.13)$$

hambatan – hambatan pada gambar 2.2 dapat ditentukan dari perumusan 2.12 dan 2.13 dengan membandingkan suhu yang bersangkutan. Berbagai beda suhu pada dinding diperoleh perumusan.

$$\begin{aligned} T_i - T_1 &= q R_1 \\ T_1 - T_2 &= q R_2 \dots\dots\dots(2.14) \\ T_2 - T_3 &= q R_3 \\ T_3 - T_4 &= q R_4 \\ T_4 - T_o &= q R_5 \end{aligned}$$

Dengan melakukan penjumlahan pada ruas kiri dan ruas kanan didapatkan :

$$T_i - T_o = q (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \dots\dots\dots(2.15)$$

atau

$$q = \frac{T_i - T_o}{\sum_{n=1}^5 R_n} \dots\dots\dots(2.16)$$

Persamaan 2.16 menyatakan bahwa aliran kalor melalui kelima bagian yang dalam susunan seri tersebut potensial suhu untuk keseluruhan dibagi dengan jumlah tahanan panas pada lintasan aliran kalor (Holman, 1986).

2.7 Model Konduktivitas Panas Seri-Paralel

Ada berbagai bentuk sistem komposisi konduktivitas panas polimer yang diisi dengan partikel. Salah satu sistem dilukiskan dalam bentuk balok konduktif partikel dan balok polimer yang tersusun secara paralel terhadap arah fluks panas. Bentuk sistem yang lain dilukiskan dengan susunan seri untuk balok konduktif partikel dan balok polimer. Kedua susunan ini digambarkan pada gambar 2.3 dan 2.4. Perumusan persamaan konduktivitas panas komposit adalah sebagai berikut.

2.7.1 Persamaan Umum Untuk Model Konduktivitas Seri-Paralel

Persamaan umum untuk model konduktivitas panas seri- paralel dengan syarat nilai n adalah $-1 < n < 1$. Persamaan tersebut dituliskan dengan perumusan sebagai berikut

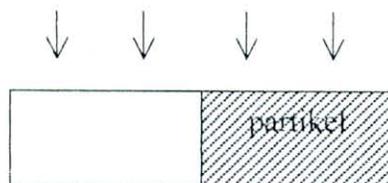
$$k^n = V \cdot (k_2)^n + (1-V) (k_1)^n \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan diketahui

- k = konduktivitas panas komposit
- k_1 = konduktivitas panas poliester
- k_2 = konduktivitas panas pengisi
- V = fraksi volume partikel pengisi
- n = indeks yang menunjukkan model konduktivitas panas.

2.7.2 Model Konduktivitas Paralel

Untuk konduktivitas panas susunan paralel dapat dilukiskan dalam gambar 2.3.



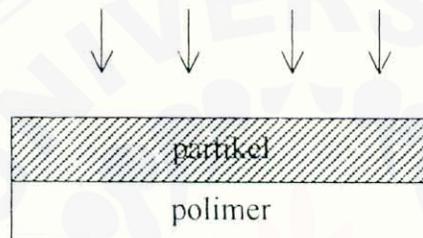
Gambar 2.3 Model konduktivitas panas paralel

Untuk $n = 1$ dirumuskan

$$k = V k_2 + (1-V) k_1 \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

2.7.3 Model Konduktivitas Seri

Untuk konduktivitas panas susunan seri dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.4 Model konduktivitas panas seri

Untuk $n = -1$ dirumuskan

$$\frac{1}{k} = \frac{V}{k_2} + \left(\frac{1-V}{k_1} \right) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Untuk perabuktian rumus 2.17, 2.18 dan 2.19 ada di lampiran. Berdasarkan perkiraan bahwa semua fasa (partikel dan polimer) dalam bentuk kontinu. Konduktivitas panas komposit bertambah besar perubahannya, bergantung pada banyaknya partikel yang dikandungnya. Bagaimanapun sedikitnya patikel dalam bentuk rantai konduktif yang menyebar dalam sistem akan mengubah konduktivitas panas bahan komposit berkurang dengan besarnya n pada suku pertama persamaan 2.17 diganti dengan C_{2n} (lihat lampiran C). Rantai konduktif adalah rantai-rantai yang dapat menghantarkan listrik atau energi panas, hanya dimiliki oleh bahan yang bersifat konduktif. Sehingga persamaan 2.17 berubah menjadi

$$k^n = V \cdot (k_2)^{C_2 n} + (1-V) (k_1)^n \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana $C_2 n$ adalah faktor pembentukan rantai konduktif yang nilainya lebih kecil 1 dan lebih besar dari nol. Partikel lebih mudah berkumpul dalam bentuk rantai konduktif sehingga konduktivitas termal partikel ikut berperan dalam menentukan konduktivitas termal komposit. Jadi besarnya C_2 dalam rumus 2.20 mendekati 1. Pada pembentukan bahan komposit, partikel mempengaruhi kristalinitas dan ukuran partikel polimer. Ini akan menyebabkan perubahan nilai konduktivitas termal polimer bersangkutan. Pengaruh ini terletak pada k_1 dalam persamaan 2.20 sehingga k_1 dapat digantikan dengan $C_1 k_1$, dan menjadikan persamaan sebagai berikut.

$$k^n = V \cdot (k_2)^{C_2 n} + (1-V) (C_1 k_1)^n \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Jika keadaan penyebaran partikel merata, maka dapat diasumsikan mendekati nol dan k^n didekati dengan $1 + n \log k$. sehingga persamaan 2.21 berubah menjadi :

$$\log k = V C_2 \log k_2 + (1-V) \log C_1 k_1 \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana.

- k = konduktivitas panas komposit
- k_1 = konduktivitas panas polimer (poliester)
- k_2 = konduktivitas panas pengisi
- V = volume komposit
- C_1 = faktor pembentukan rantai konduktif
- C_2 = faktor yang mempengaruhi konduktivitas panas polimer (poliester).

Persamaan 2.22 hanya berlaku untuk satu jenis bahan pengisi partikel saja sedangkan untuk pengisi lebih dari satu jenis partikel, perumusannya dapat diperluas (Agari, 1986).

2.8 Teori Pengukuran Konduktivitas Panas

Dari dua ketebalan bahan yang berbeda didapatkan dari persamaan 2.6 sehingga didapat persamaannya:

$$q = \frac{k_R A \Delta T_R}{L_R} = \frac{k_x A \Delta T_x}{L_x} \dots\dots\dots(2.23)$$

dari persamaan di atas dinyatakan dengan $k_R, L_R, \Delta T_R$ untuk bahan standar dan $k_x, L_x, \Delta T_x$ adalah bahan uji, dengan ΔT_R sebagai berikut

$$\Delta T_R = \frac{(t_1 - t_2) + (t_2 - t_3) + (t_3 - t_4) + (t_7 - t_8) + (t_8 - t_9) + (t_9 - t_{10})}{6} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dari persamaan 2.23 maka nilai konduktivitas bahan uji yang dibandingkan dengan bahan standar menjadi :

$$k_x = \frac{\Delta T_R L_x}{L_R \Delta T_x} k_R \dots\dots\dots(2.25)$$

atau dapat juga dituliskan.

$$k_x = \frac{L_x}{\Delta T_x} \frac{L_R}{\Delta T_R k_R} \dots\dots\dots(2.26)$$

Jika diketahui :

$$L_x = L_b - L_a$$

$$\Delta T_x = \Delta T_b - \Delta T_a$$

maka dituliskan harga k (konduktivitas panas) bahan uji seperti di bawah ini:

$$k_x = \frac{L_b - L_a}{(\Delta T_b - \Delta T_a) \frac{L_R}{\Delta T_R k_R}} \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana :

- k_x = konduktivitas panas bahan uji
- k_R = konduktivitas panas bahan standar
- L_x = ketebalan bahan uji standar
- L_R = ketebalan bahan standar
- L_a = ketebalan bahan a
- L_b = ketebalan bahan b
- ΔT_x = perbedaan suhu panas dengan suhu rendah
- ΔT_R = perbedaan suhu pada bahan standar
- ΔT_a = perbedaan suhu bahan a
- ΔT_b = perbedaan suhu bahan b

Persamaan 2.27 adalah persamaan yang nantinya dipakai untuk menghitung besarnya nilai konduktivitas panas.

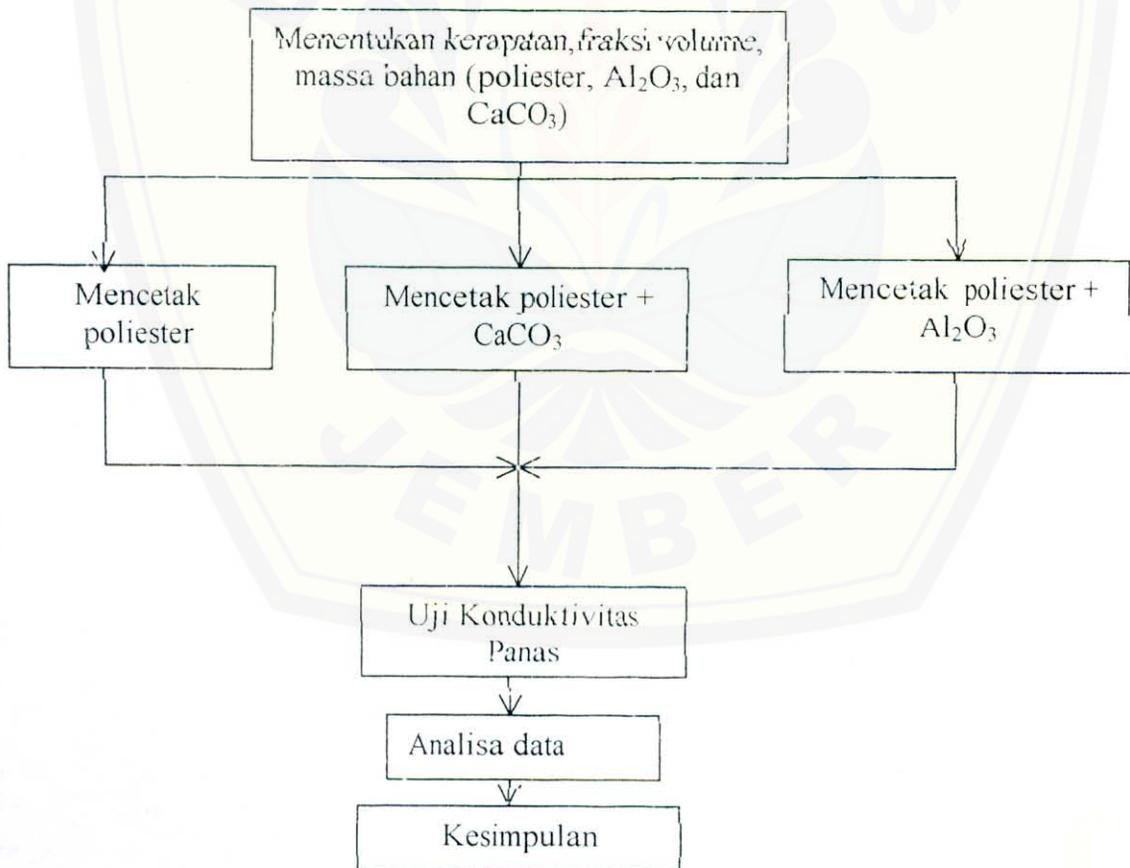
III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini di Laboratorium Material MIPA Universitas Jember dan di Laboratorium Fisika Madya Fakultas MIPA-ITS. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Pebruari hingga Mei 2003.

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian konduktivitas panas ini dilakukan berdasarkan prosedur dalam skema sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram prosedur penelitian.

3.3 Bahan dan Alat Yang Digunakan

A. Bahan

1. Poliester
2. Katalis mekpo
3. Al_2O_3
4. $CaCO_3$

B. Alat

1. Piknometer
2. Timbangan digital
3. Kaca
4. Pipa paralon
5. Gelas ukur
6. Pengaduk
7. Kertas gosok
8. Alat pengukur konduktivitas panas.

3.4 Eksperimen

3.4.1 Komposisi Bahan Uji

Adapun komposisi bahan uji antara poliester dengan bahan pengisi adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Besarnya Komposisi Bahan Uji

Bahan	Komposisi					
	I	II	III	IV	V	VI
poliester	100%	95%	90%	85%	80%	75%
pengisi	0%	5%	10%	15%	20%	25%

3.4.2 Penentuan Kerapatan (*Density*) Bahan Uji

Secara umum kerapatan suatu bahan dinyatakan dengan massa persatuan volume dituliskan :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(3.1)$$

langkah pertama dalam pembuatan bahan uji ini adalah menentukan kerapatan masing-masing bahan. Pengujian densitas ini berdasar pada standar ASTM D 1505, untuk mengetahui besarnya perbandingan massa untuk fraksi volume dapat dilakukan jika kerapatan masing-masing bahan sudah diketahui. Alat untuk menentukan kerapatan kali ini menggunakan picnometer. Pada penelitian ini menggunakan pelarut alkohol dengan kerapatan $0,81 \text{ gr/cm}^3$ dengan kemurnian 96%. Karena syarat pelarut harus mempunyai kerapatan yang lebih rendah agar bahan uji dalam keadaan tenggelam.

Massa cuplikan diberikan dalam persamaan di bawah ini :

$$m_s = m_2 - m_1 \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana :

m_s : massa cuplikan

m_1 : massa piknometer kosong

m_2 : massa piknometer dan cuplikan

dan massa cairan yang terkandung dalam piknometer adalah m_1 dengan persamaan.

$$m_1 = m_3 - m_2 \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana m_3 adalah massa piknometer ditambah massa cairan dan massa cuplikan.

Jika kerapatan cairan dilambangkan dengan ρ_L , maka persamaan volume cuplikan adalah:

$$V_s = V - V_L \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

V = volume total piknometer

V_L = volume cairan yang terdapat dalam piknometer

maka dari persamaan 3.2 dan 3.4 di dapat

$$\rho = \frac{m_s}{v_s} = \frac{\rho_L (m_2 - m_1)}{\rho_L v + m_2 - m_3} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

3.4.3 Penentuan Fraksi Volume

Besarnya bahan pengisi atau bahan polimer dibagi dengan total volume bahan campuran disebut sebagai fraksi volume. Persamaan untuk menentukan fraksi volume adalah sebagai berikut :

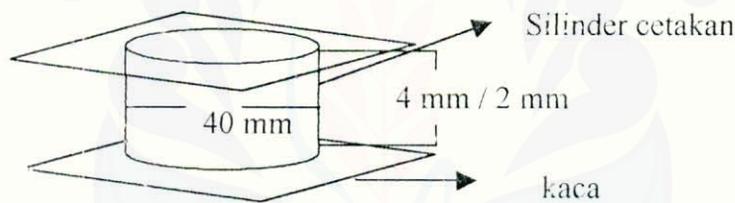
$$v_1 \% = \frac{v_1}{v_1 + v_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

v_1 adalah besar volume dari bahan polimer, sedangkan v_2 adalah volume bahan pengisi. Penjumlahan fraksi volume dari v_1 dan v_2 adalah sama dengan satu (Achmad, 1996:7). Pernyataan tersebut dituliskan dengan persamaan

$$\frac{v_1}{v_1 + v_2} + \frac{v_2}{v_1 + v_2} = 1 \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

3.4.4 Proses Cetak Manual

Pembuatan spesimen dilakukan dengan metode cetak manual *hand lay-up*. Langkah pertama resin poliester dicampur dengan salah satu dari bahan pengisi yaitu berupa serbuk Al_2O_3 atau serbuk CaCO_3 . Setelah kedua serbuk pengisi dimasukkan kemudian diaduk secara perlahan-lahan supaya tidak banyak terdapat gelembung udara yang terjebak dalam campuran (*void*). Poliester dan pengisi yang sudah tercampur diberi katalis mekpo. Campuran yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk pelet atau silinder setelah itu diberikan sedikit tekanan berupa kaca yang diletakkan di bawah dan di atas cetakan, digunakan kaca karena bahan ini tidak lengket waktu poliester diambil dari cetakan.



Gambar 3.2 Cetakan yang digunakan untuk proses pembentukan spesimen komposit.

Cetakan yang digunakan mempunyai 2 ketebalan yang berbeda yaitu 4 mm dan 2 mm, kedua cetakan mempunyai diameter yang sama yaitu 40 mm. Jika volume silinder tersebut $\pi r^2 t$ maka volume kedua bahan adalah $5,024 \text{ cm}^3$ dan $2,512 \text{ cm}^3$. Setelah bahan komposit dituangkan dalam cetakan dan diberi kaca di kedua ujungnya, spesimen dibiarkan menjadi beku dan mengeras hingga dapat dilepas dari cetakan. Untuk menghasilkan bentuk yang bagus dilakukan penghalusan permukaan dengan kertas gosok yang halus, dan spesimen siap untuk diuji konduktivitas panasnya.

3.5 Peralatan Uji Konduktivitas Panas

Peralatan yang digunakan untuk mengukur harga konduktivitas panas adalah " *Thermal Conductivity Measuring*" model HVS -40 -200 SF dengan daerah pengoperasian pada temperatur 0° - $199,9^{\circ}$ dan berdasar pada ASTM C 1113, di Laboratorium Fisika Madya FMIPA- ITS. Terdapat suatu perlengkapan yang berfungsi untuk mengontrol dan membaca temperatur dari elemen pemanas serta pengontrol sistem sirkulasi air untuk pendinginan. Secara keseluruhan peralatan ini ditunjukkan pada gambar 3.3. Peralatan ini terdiri 6 bagian yaitu :

1. Penampung air bagian atas.

Berfungsi untuk membuat temperatur dingin dibagian bawah tabung uji.

2. Pengatur untuk mengatur dan mengontrol suhu.

Digunakan untuk mengatur dan mengontrol suhu elemen pemanas yang dikehendaki agar selama melakukan percobaan diperoleh pemanasan yang stabil.

3. Termometer.

Petunjuk dari harga suhu sesuai dengan posisi termoselektor (t_1, t_2, \dots, t_{10})

4. Selektor temperatur.

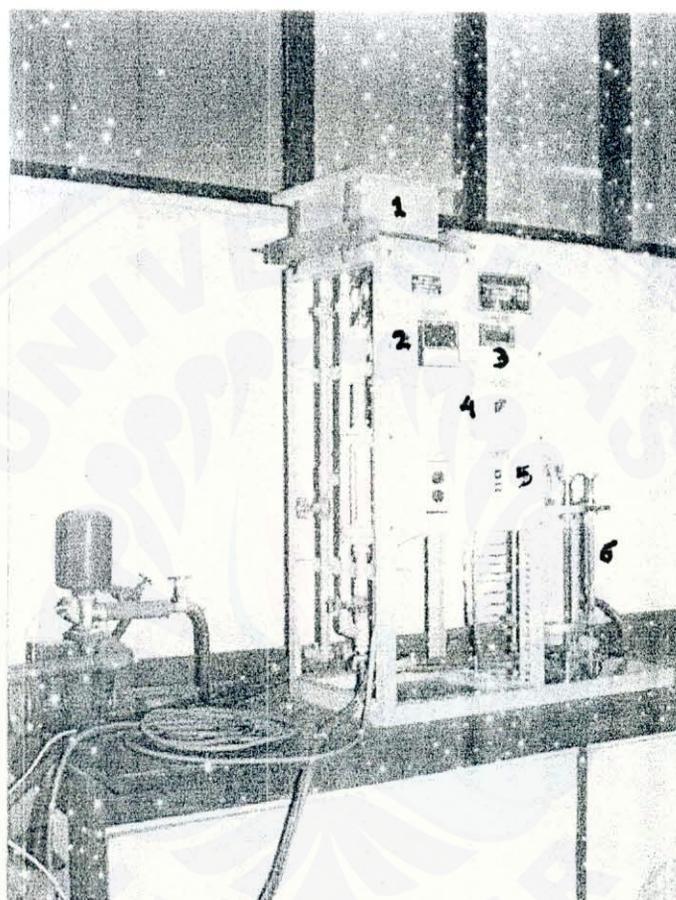
Bagian penghubung termokopel pada terminal pengukur.

5. Power swith.

Berfungsi sebagai saklar atau menyambungkan dan memutus peralatan dengan sumber listrik .

6. Bagian pengukuran.

Terdiri dari beberapa unit termokopel, bahan standar, tempat bahan uji, elemen pemanas, penampung air dan pendingin.



Gambar 3.3 Bentuk peralatan uji konduktivitas panas



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap konduktivitas panas bahan poliester dengan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 sebagai berikut.

1. Nilai konduktivitas panas bahan komposit meningkat sebanding dengan komposisi 10% – 25% penambahan bahan pengisi Al_2O_3 dan CaCO_3 pada bahan poliester.
2. Bahan pengisi CaCO_3 lebih bersifat konduktif pada saat dicampur dengan poliester dibandingkan dengan pengisi Al_2O_3 .

5.2 Saran

Untuk mendapatkan nilai konduktivitas panas yang lebih tinggi perlu dicoba bahan pengisi lainnya, salah satunya adalah bahan pengisi dari logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. 1996. *Kimia Larutan*. Jakarta: Citra Aditya Bakti.
- Agari, Y dan T. Uno. 1986. *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 32. 5705-5712.
- Ariyani, S. 1991. *Analisis Konduktivitas Termal Pada Polietilen Dengan Bahan Pengisi Al₂O₃ Dan CaCO₃*. TA II. Surabaya: ITS.
- Callister, W. D. 1985. *Material Science and Engineering An Introduction*. Canada: John Willey And Sons.
- John, D. 1997. *Kamus Lengkap Kimia*. Jakarta: Erlangga.
- Djaprie, S. 1997. *Tehnologi Mekanik Jilid I*. Universitas Indonesia. Jakarta: Erlangga.
- Holman, J. P. 1986. *Heat Transfer*. Universitas of Colorado. New York: Mc Graw-Hill Book.
- P. T. Justus Sakti Raya. 1995. *Unsaturated polyester*. Jakarta: www. Justus.co.id.
- Petrucci, R. H. Diterjemaahkan oleh Suminar Achmadi. 1998. *Kimia dasar*. IPB. Jakarta: Erlangga.
- Prijono, A. 1997. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Fricke, A. L. S. Y. Pusatcioglu, dan J. C. Hassler. 1979. *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 24. 947-952.
- Skrifvars, M. 2000. *Synthetic and Characterition of Unsaturated Polyester*. Disertation. Finland: The Faculty of Science of University of Helsinki.

Sopyan, I. Diterjemahkan dari M. P. Steven. 2001. *Kimia polimer*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.



Model Konduktivitas Panas Paralel

Aliran kalor telah dianalogikan dengan aliran listrik sehingga fluks panas (q) analogi dengan arus dan Δv serta konduktivitas panas ($1/k$) analogi dengan hambatan (R). Oleh karena itu dalam konduksi panas berlaku juga hukum sama dengan hukum konduksi listrik.

Pada hukum Kirchoff pertama menyatakan bahwa jumlah aljabar dari arus pada setiap cabang dari rangkaian listrik adalah nol. Sehingga dalam model konduktivitas panas paralel memiliki Δt yang sama disetiap susunan balok pada gambar A.1. dengan besar fluks q adalah

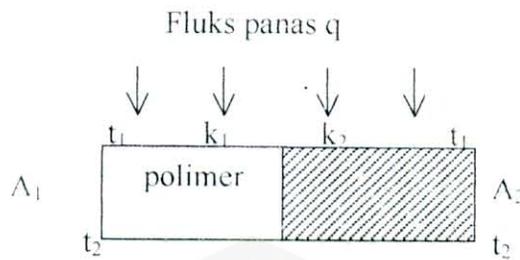
$$q = q_1 + q_2 \dots\dots\dots (A-1)$$

dengan besar q, q_1, q_2 sebagai berikut

$$q = k \frac{A \Delta t}{L} \dots\dots\dots (A-2)$$

$$q_1 = k_1 \frac{A \Delta t}{L_1} \dots\dots\dots (A-3)$$

$$q_2 = k_2 \frac{A \Delta t}{L_2} \dots\dots\dots (A-4)$$



Gambar A .1. Model konduktivitas panas susunan paralel

Apabila besarnya q disubsitusikan kedalam persamaan (A-1) maka diperoleh

$$k = k \frac{A_1 \Delta t}{L_1} + k \frac{A_2 \Delta t}{L_2} \dots\dots\dots (A-5)$$

karena besarnya tebal $L=L_1=L_2$ dan besarnya luas permukaan yang dialiri panas tidak sama maka diperoleh perumusan konduktivitas panas komposit

$$k = \frac{k_1 A_1}{A} + \frac{k_2 A_2}{A} \dots\dots\dots (A-6)$$

dengan demikian persamaan (A-6) dapat diasumsikan bahwa besarnya $(A_1 + A_2)/A = 1$, sehingga besarnya perbandingan luasan ini sebanding dengan fraksi volume. Bila besarnya fraksi volume komposit adalah 1 dan fraksi volume partikel adalah V maka besarnya fraksi volume polimer adalah $(1-V)$ sehingga dapat dirumuskan konduktivitas panas komposit sebagai berikut:

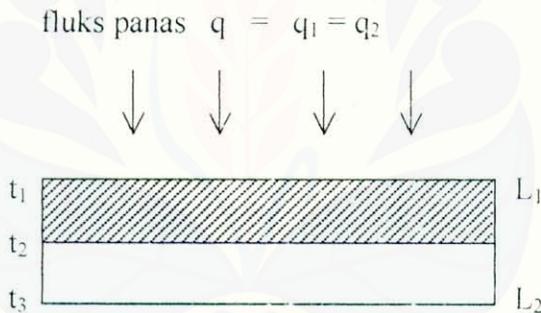
$$k = V k_2 + (1-V) k_1 \dots\dots\dots (A-7)$$

sama dengan persamaan 2.18 dalam bab II.

Model Konduktivitas Panas Susunan Seri

Pada model konduktivitas panas susunan seri ini berlaku sama dengan hukum Khirchoff ke dua pada aliran listrik menyatakan bahwa jumlah aljabar dari tegangan pada suatu loop sama dengan jumlah aljabar dari perkalian antara arus dengan hambatan didalam seluruh rangkaian tertutup tersebut. Sehingga pada model ini besarnya fluks panas (q) sama disetiap balok konduksi tetapi besarnya Δt disetiap balok konduksi berbeda beda, untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada gambar A.2. Oleh karena itu Δt dapat dirumuskan.

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 \dots\dots\dots(B-1)$$



Gambar A .2. Model konduktivitas panas susunan seri

Persamaan (A-2),(A-3) dan (A-4) disubsitusikan ke dalam persamaan (B-1), maka diperoleh perumusan

$$\frac{q L}{k A} = \frac{q_1 L_1}{k_1 A_1} + \frac{q_2 L_2}{k_2 A_2} \dots\dots\dots(B.2)$$

karena luasan permukaan $A = A_1 = A_2$ dan $q = q_1 = q_2$. maka diperoleh perumusan konduktivitas panas komposit

$$\frac{L}{k} = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \dots\dots\dots(B.3)$$

apabila besarnya tebal balok konduktif $(L_1 + L_2)/L = 1$, maka perbandingan ketebalan ini sebanding dengan fraksi volume yang diasumsikan bahwa untuk fraksi volume bahan komposit sama dengan 1 dan fraksi volume partikel adalah v sehingga fraksi volume bahan polimer sama dengan $(1 - v)$. Dengan demikian terbukti bahwa persamaan konduktivitas panas komposit susunan seri sama dengan

$$\frac{1}{k} = \frac{(1-V)}{k_1} + \frac{V}{k_2} \dots\dots\dots(B.4)$$

terbukti persamaan diatas sama pada persamaan 2.19 dalam bab II.

Pembuktian Perumusan Umum Konduktivitas Panas Seri Paralel

Pada persamaan sebagai berikut

$$k^n = V (k) C_{2n} + (1 - V) (k_1 C_1)^n \dots\dots\dots(C.1)$$

terdapat k^n yang dapat didekati dengan deret Machaurin apabila $f(n) = k^n$ dan n mendekati nol, dapat dituliskan sebagai berikut

$$f(n) = f(0) + n f'(0) + \frac{n^2}{2!} f''(0) + \dots\dots\dots(C.2)$$

dengan diekspansikan disekitar $n = 0$ maka :

$f(n) = k^n$	—————→	$f(0) = 1$
$f'(n) = k^n \ln k$	—————→	$f'(0) = \ln k$
$f''(n) = k^n \ln^2 k$	—————→	$f''(0) = \ln^2 k$

sehingga,

$$k^n = 1 + n \ln k + \frac{n^2}{2!} \ln^2 k + \dots\dots\dots(C.3)$$

apabila n mendekati nol maka dapat diambil sampai suku ke dua sebagai berikut :

$$k^n \approx 1 + n \ln k \dots\dots\dots(C.4)$$



karena yang digunakan dalam perhitungan adalah basis sepuluh, maka didapatkan analogi \ln dengan \log , sehingga persamaan diatas dapat dituliskan

$$k^n \approx 1 + n \log k \quad \dots\dots\dots(C.5)$$

sehingga suku ke dua dan ke tiga pada persamaan C.1 dapat dituliskan analogi dengan persamaan C.5 yaitu :

$$(k_2)^{C_2 n} \approx 1 + C_2 n \log k_2 \quad \dots\dots\dots(C.6)$$

dan

$$(k_1 C_1) \approx 1 + n \log (k_1 C_1) \quad \dots\dots\dots(C.7)$$

bila persamaan C.5, C.6 dan C.7 disubstitusikan kedalam persamaan C.1 maka diperoleh persamaan

$$1 + n \log k = V (1 + n C_2 \log k_2) + (1-V) [1 + n \log (C_1 k_1)] \quad \dots\dots\dots(C.8)$$

persamaan (C-8) dapat disederhanakan lagi menjadi

$$\log k = V C_2 \log k_2 + (1-V) \log (C_1 k_1) \quad \dots\dots\dots(C.9)$$

jadi terbukti bahwa persamaan 2.22 pada bab II sama dengan persamaan di atas.