KONDUKSI PANAS KOMPOSIT POLIMER POLIPROPILENA - PASIR

Betha[1], Sudirman[2], Aloma Karo Karo[2] dan Mashuri[1]
[1]Jurusan Fisika-FMIPA ITS
Keputih Sukolilo, Surabaya 60111
[2]Puslitbang Iptek Bahan (P3IB)-BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Banten

ABSTRAK

KONDUKSI PANAS KOMPOSIT POLIMER POLIPROPILENA - PASIR. Sifat konduksi panas bahan komposit polipropilena (PP)-pasir telah diteliti. Komposit PP dengan pasir dimaksudkan untuk meningkatkan sifat konduksi panas dari bahan polimer tersebut. Komposit dalam penelitian ini dilakukan dengan mencampur matriks (polipropilena melt flow 2/10) dan filler (pasir) dengan alat *labo plastomill*. Hasil pengujian konduktivitas panas komposit polipropilena–pasir yang didapat semakin meningkat dengan bertambahnya fraksi volume partikel pengisi. Dan pengkajian konduktivitas termal didasarkan pada model *Cheng* dan *Vachon*, model *Lewis* dan *Nielsen*, dimana pemodelan ini berfungsi untuk menunjang hasil eksperimen. Terbukti bahwa model *Lewis* dan *Nielsen* yang cenderung mendekati hasil eksperimen ini. Kemudian peningkatan konduktivitas panas akan dianalisis juga dengan model konduksi seri-pararel sistem dua fasa, yang menunjukkan bahwa pasir dalam komposit PP MF 2 lebih berperan dalam menaikkan konduktivitas panas daripada pasir dalam komposit PP MF 10 namun tidak mudah dalam membentuk medium konduktif.

Kata kunci: Konduksi panas, pencampuran,komposit, polipropilena, *filler* pasir

ABSTRACT

THERMAL CONDUCTIVITY OF POLYMER COMPOSITE POLYPROPILENE-SAND. Thermal conductivity composite materials polypropilene (PP)-sand have been investigated. PP composite with sand to increase thermal conductivity from the polymer. The composite in this observation is done by mixing matrix (PP melt flow 2/10) and filler (sand) by means tool labo plastomil. The result of thermal conductivity is composite of PP-sand which is obtained increase and followed by the raising of filler particle volume fraction. The analysis of thermal conductivity based on the model Cheng and Vachon, model Lewis and Nielsen where this model has the fuction to support experiment finding. It is proved that Lewis' and Nielsen's model almost approach experiment result. And then thermal conductivity raising will be analyzed by the model of pararel-series conductive with the two (2) phases system. It is showed that sand in PP MF 2 composite have the big role to increase the thermal conductivity than sand in PP MF 10 composition, but it is not easy to shape conductive medium.

Key words: Thermal conductivity, mixing, composite, polypropilene, sand fillers

1. PENDAHULUAN

Bahan polimer dapat menjadi salah satu alternatif untuk pembuatan bahan konduktor panas, karena syarat-syarat yang dibutuhkan bahan konduktor tersebut dapat diperoleh dari polimer dengan cara memodifikasinya menjadi komposit polimer. Produk komposit-polimer selama ini banyak dikonsumsi oleh masyarakat terutama digunakan untuk atap, pipa, selang dan kabel. Hal tersebut dikarenakan bahan tersebut lebih praktis dibandingkan produk non komposit-polimer[1,2]. Dari uraian di atas jelaslah bahwa keunggulan sifat bahan tersebut dapat digunakan sebagai bahan rekayasa. Modifikasi bahan polimer dapat dipakai sebagai pengubah sifat bahan. Pemilihan polimer sebagai bahan rekayasa perlu memperhatikan beberapa aspek, seperti kemampuan daya hantar panas, kekuatan mekanik (tahan terhadap struktur deformasi, tak retak pada berbagai regangan), kompatibilitas terhadap bahan dasarnya harus baik (tidak mudah mengelupas atau lepas), ketahanan terhadap abrasi dan goresan [3,4].

Permasalahan yang sering timbul dalam pembuatan produk komposit-polimer yakni sifat fisisnya berkurang akibat temperatur yang tinggi sehingga pemakaian bahan tidak dapat tahan lama, untuk memperbaiki sifat fisis tersebut diperlukan pemilihan jenis polimer yang tepat,

Vol. 2 No. 2, Februari 2000, hal : 21 - 26
ISSN : 1411-1098

dan untuk menunjang sifat termalnya diperlukan *filler* yang dapat memberikan daya hantar panas tinggi sehingga mampu mengalirkan panas yang dibangun sistem (*head exchanger*)[1]. Disamping itu juga pemberian *filler* pada polimer akan memberikan sifat yang variatif pada sifat bahan sehingga diperoleh sifat fisik dan mekanik yang memenuhi persyaratan [2,5].

Pemilihan polimer termoplastik jenis polipropilena (PP) sebagai matriks dalam komposit penelitian ini dikarenakan polimer ini mudah diproses, titik leleh tinggi, densitas rendah dan termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer, tahan korosi, namun penghantar panas dan listriknya rendah daripada logam. Dari sifat dan biaya prosesnya relatif murah, mudah diperoleh di pasaran, serta dapat didaur ulang. Polipropilena digunakan secara luas untuk aplikasi seperti alat-alat keperluan rumah tangga, pipa, komponen mobil (*automotive parts)*, lantai, peralatan militer dan lain-lainnya [2,3,4,5].

Pemilihan pasir sebagai *filler* dalam penelitian ini diharapkan dapat merubah karakteristik bahan misalnya meningkatkan konduktivitas panas serta penyebarannya, mengurangi koefisien muai panas, mengeraskan matrik dan membuatnya kaku, mengurangi tegangan internal, dan menurunkan biaya produksi [5,6].

Pada penelitian ini dibahas konduktivitas panas bahan komposit-polimer yang diisi dengan pasir dengan fraksi volume yang bervariasi, sehingga diharapkan pada bahan yang diteliti dapat diidentifikasi sifat konduktivitasnya (dalam hal ini bahan masih bersifat isolator). Kemudian hasil eksperimen konduktivitas panas akan dikaji dengan model atau teori yang telah ada [2,5].

Komposit polimer adalah komposit dengan matriks dari bahan polimer dengan pengisi (*filler*) bahan jenis lain [4]. Matriks adalah bahan dasar pembentuk bahan komposit yang mengikat pengisi dengan tidak terjadi ikatan secara kimia [7]. Untuk memperoleh sifat bahan komposit seperti yang diinginkan, langkah pertama yang perlu diperhatikan adalah mengetahui sifat dari bahan matriks yang ingin diperbaiki. Dari pengetahuan tentang sifat-sifat bahan matriks inilah dapat dipilih bahan (*filler*) apa yang harus diisikan pada bahan matriks untuk mendapatkan sifat bahan seperti yang diinginkan.

TEORI

Konduksi panas merupakan proses hantaran panas pada medium padat akibat perbedaan temperatur. Perpindahan energi panas ini terjadi karena hantaran antar molekul secara langsung tanpa disertai perpindahan molekul yang bersangkutan.

Polimer bersifat isolator panas dan listrik karena nilai konduktivitasnya kecil. Pada bahan polimer yang mempunyai derajat kekristalan yang tinggi mempunyai nilai konduktivitas panas yang lebih besar daripada rantai molekul pada kristal. Hal ini sesuai dengan gerak vibrasi dari rantai molekul pada kristal.

Menurut teori kinetik, temperatur suatu bahan menentukan energi kinetik rerata molekul-molekul penyusun zat padat. Energi yang dimiliki suatu bahan yang disebabkan oleh kecepatan dan potensial relatif molekul-molekul penyusunnya disebut energi dalam.

Bila molekul-molekul yang bergerak di suatu daerah memperoleh energi kinetik rerata yang lebih besar dari energi yang dimiliki oleh molekul-molekul tetangganya maka molekul-molekul ini akan memindahkan sebagian besar energinya kepada molekul-molekul tetangga yang bertemperatur lebih rendah. Perpindahan energi kinetik rerata ini dapat dilakukan melalui hamburan elektron-elektron yang bergerak dengan cepat dari daerah yang bertemperatur lebih tinggi menuju daerah yang bertemperatur lebih rendah atau berupa tumbukan tak elastik fonon.

Dalam bahan perpindahan panas konduksi akan mengakibatkan terjadinya penyeragaman temperatur di seluruh bagian medium. Tetapi untuk keadaan tunak pada bahan akan terjadi aliran panas yang berlangsung terus menerus dari daerah yang lebih panas menuju daerah yang lebih dingin. Pada bahan polimer perpindahan energi dilakukan dengan cara vibrasi, translasi, dan rotasi dari rantai molekul.

Banyak teori dan model empiris yang diusulkan untuk memprediksi konduktivitas panas dari sistem dua fasa. *Vachon* dan *Cheng* [2] mengansumsikan distribusi parabola dari fasa dan menentukan distribusi parabolik konstan dengan analisis, kehadirannya sebagai fungsi dari fraksi volume fasa diskontinu. Ekivalen konduktivitas panas dari unit kubus dari campuran adalah diturunkan dalam bentuk fungsi distribusi dan konduktivitas panas dari unsur pokok. Konduktivitas panas dari unsur pokok. Konduktivitas efektif untuk $k_m > k_p$ adalah

$$\frac{1}{kc} = \frac{1}{\{C(kmkp)[kp+B(kmkp)]\}^{1/2}} \times \ln\frac{[kp+B(km-kp)]^{1/2}+[B/2)[C(km-kp)]^{1/2}}{[kp+B(km-kp)]^{1/2}-[B/2)[C(km-kp)]^{1/2}} + \frac{1-B}{kp} \qquad (2.1)$$

dengan

$$B = \left(\frac{3\varphi}{2}\right)^{1/2} \quad \text{dan}$$

$$C = 4\left(\frac{2}{3\varphi}\right)^{1/2}$$

dimana kc adalah konduktivitas panas komposit, kp adalah konduktivitas panas fasa kontinu (polimer), km adalah konduktivitas panas fasa diskrit (partikel pengisi

polimer). Untuk campuran golongan kedua, dimana kp << km atau km/kp > 100 selama, Ö < 0,667 konduktivitas panas efektif dapat didekati oleh bentuk kedua dari persamaan berikut:

$$kc = \frac{kp}{1 - B} \qquad (2.2)$$

Model yang diusulkan *Lewis* dan *Nielsen* didapatkan dengan memodifikasi persamaan *Kerner* atau persamaan *Halpin-Tsai* [2] :

$$kc = kp \frac{1 + A\beta\beta}{1 - A\beta\beta} \quad \text{dan}$$

$$\Psi = 1 + \frac{1 - \varphi m \varphi}{\varphi 2} \qquad (2.3)$$

Model ini diambil dalam keadaan perhitungan efek dari bentuk partikel dan orientasi atau tipe dari pembungkus untuk sistem dua fasa. Konstanta *A* bergantung atas bentuk pokok dari partikel yang tersebar dan bagaimana orientasi partikel dengan memperhatikan arah aliran panas, f_m adalah maksimum fraksi pembungkus yang didefinisikan sebagai volume sebenarnya dari partikel dibagi dengan volume partikel yang kelihatan menempati ketika pembungkusnya pada batas maksimum.

Konduksi panas dapat juga dikaji dengan model *seri-pararel* dalam sistem dua fasa seperti yang diusulkan oleh *Y. Agari* dan *T. Uno* [2], sebagai berikut

$$\log k = V C_2 \log k_2 + (1 - V) \log (C_1 k_1) \qquad (2.4)$$

Dengan C_1 berhubungan dengan perubahan nilai konduktivitas panas karena pengaruh partikel pengisi dan C_2 merupakan faktor kemudahan pembentukan medium konduktif. Persamaan tersebut hanya berlaku untuk satu jenis bahan pengisi partikel.

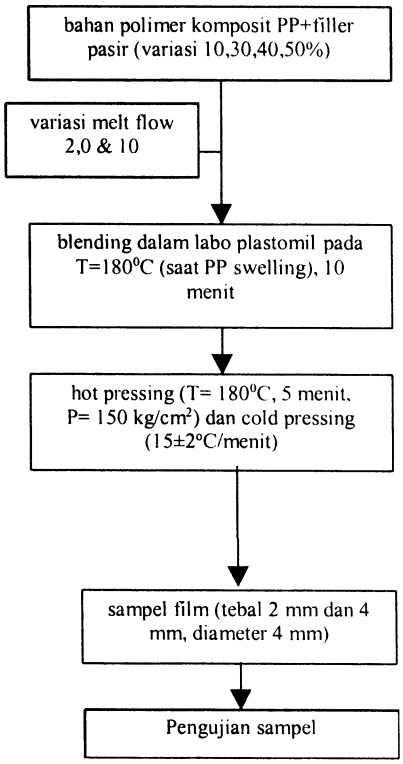
Dalam perpindahan panas konduksi pada bahan sistem dua fasa dianalisis dengan anggapan bahwa fluk panas mengalir dalam satu arah, bahan tidak menyerap panas, perpindahan panas radiasi dan konveksi diabaikan, bahan bersifat isotropik panas, tidak terjadi reaksi kimia dalam proses pencampuran fasa bahan [8].

METODA

Bahan

Polipropilena (PP) dengan variasi *Melt Flow Indeks* 2,0 dan 10. Bahan ini didapatkan dari PT. TRI POLYTA INDONESIA, Tbk, Cilegon. Filler berupa Pasir dari PT. PIONER, Cikokol, Tangerang.

Penyiapan Sampel



Gambar 1. Pembuatan spesimen uji

Karakterisasi

Diukur harga konduktivitas panas dengan alat OSK 4565-A *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*, (ketebalan bahan yang 2 mm dan 4 mm, diameter bahan uji 4 cm), untuk tiap variasi fraksi volume yang ditentukan. dengan daerah operasi pada temperatur 0°C–199,9°C. *Setting* temperatur dilakukan pada 50±2°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konduktivitas Panas

Dalam pembentukan bahan komposit, langkah awal atau terpenting yang harus dilakukan ialah karakterisasi atau identifikasi terhadap bahan yang dipakai dalam matriks maupun pengisi. Ini meliputi pemilihan jenis pengisi dan matriks yng sesuai dengan kebutuhan. Dalam pembuatan bahan uji komposit-polimer, bahan matriks yang digunakan polipropilena MF2 dan MF10, sedangkan *filler* (pengisi) yang digunakan pasir. Bahan pengisi partikel adalah partikel yang terdispersi atau terdistribusi secara merata dalam matriks mempunyai ukuran butir lebih besar dari 1 mikrometer. Di dalam pembuatan bahan komposit ini, konsentrasi

Vol. 2 No. 2, Februari 2000, hal : 21 - 26
ISSN : 1411-1098

fraksi volume *filler* antara 10%-50%.

Matriks polipropilena mempunyai hantaran panas yang rendah dan diharapkan dengan penambahan *filler* pasir mempunyai nilai hantaran panas yang lebih. Pada penelitian ini, komposit yang dibuat merupakan bahan isotropik yang distribusi suhu pada aliran panas tidak bergantung pada arah.

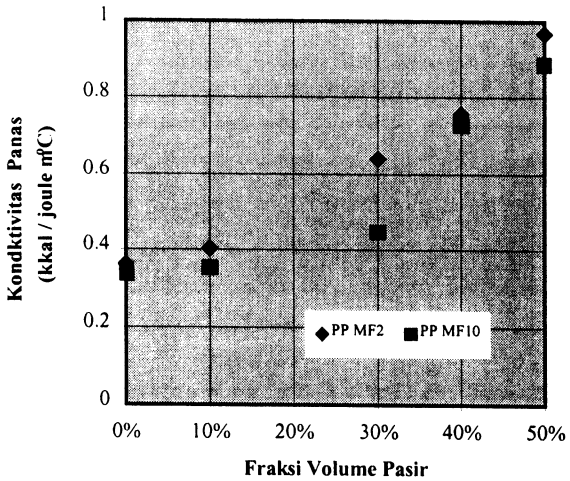
Adapun karakteristik termal ketiga bahan polipropilena MF2 / MF10, dan pasir tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Termal Bahan Matrik dan Pengisi

Bahan	ρ (g/cm^3)	k (kkal / jam m °C)
PP MF 2	0,8956	0,3620
PP MF 10	0,8741	0,3350
Pasir	2,4028	1,5750

Pengukuran konduktivitas panas bahan komposit-polimer ini dilakukan pada temperatur *setting* 50 ± 2 °C dan kecepatan sirkulasi air pendingin 150 L/jam. Kondisi ini diharapkan untuk menjaga agar struktur bahan polipropilena tidak mengalami perubahan dan *gradien* temperatur yang terjadi sangat baik. Berikut ini gambar grafik hubungan konduktivitas panas komposit dengan fraksi volume *filler* pasir.

Pada Gambar 2, nilai konduktivitas panas bahan komposit PP (MF2) -pasir dan PP (MF10) - pasir cenderung meningkat sesuai dengan kenaikkan fraksi volume partikel pengisi. Disini dapat dikatakan bahwa perubahan fraksi volume pengisi sangat mempengaruhi konduktivitas panas bahan komposit, sehingga dapat dikatakan bahwa konduktivitas panas bahan komposit ditentukan konduktivitas panas dari bahan pengisi pasir. Hal ini sesuai dengan teori kuantum, bahwa penambahan pengisi yang semakin banyak menyebabkan meningkatnya gerak translasi, rotasi, dan vibrasi dari molekul atom sehingga memudahkan proses transfer energi termal atau fonon. Keadaan energi molekular ditimbulkan oleh rotasi (perputaran) molekul secara



Gambar 2. Grafik konduktivitas panas komposit pada polipropilena MF (2/10) - pasir.

keseluruhan dan vibrasi (getaran) atom pembangun relatif terhadap yang lain dan juga perubahan konfigurasi elektronik.

Pada mekanisme perpindahan panas dapat terjadi jika ada perbedaan panas dari bahan. Pada daerah-daerah yang bersuhu tinggi kecepatan pergerakan atom lebih tinggi dari pergerakan atom yang berada pada suhu rendah. Atom-atom tersebut bergerak dan akan saling bertumbukan satu sama lain sehingga energi atom yang lebih besar akan menyerahkan energinya pada waktu bertumbukan tersebut dengan atom yang energinya lebih rendah.

Untuk bahan pengisi *filler* pasir, kontribusi pembawa energi panas lebih dominan dilakukan oleh fonon daripada elektron. Elektron tidak mudah menghamburkan panas seperti fonon dan mempunyai kecepatan yang lebih tinggi. Sedangkan pada bahan logam mengandung elektron bebas relatif besar. Pada mekanisme transfer energi, molekul atom bergetar bersama-sama sehingga molekul atom mempunyai temperatur yang sama. Temperatur inilah yang digunakan untuk energi bergetar pada molekul atom.

Pada komposit PP MF2-pasir cenderung mempunyai nilai konduktivitas panas yang lebih besar, namun perbedaannya tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan poliporopilena MF10, hal ini dikarenakan pada PP MF2 sendiri mempunyai derajat kristalinitas yang besar daripada PP MF10[8]. Besarnya konduktivitas panas bergantung pada derajat kristalinitas. Semakin meningkat fasa kristal mengakibatkan nilai konduktivitas termal meningkat pula, hal ini sesuai dengan gerak vibrasi dari rantai molekul pada kristal. Dengan demikian mekanisme transfer energi dapat terjadi dengan baik.

Analisis Konduktivitas Panas dengan Pendekatan Model Teoritis

Perpindahan panas yang melewati bahan yang berstruktur komposit akan mengalami perubahan sesuai karakteristik struktur bahan tersebut. Hal ini dapat digambarkan berupa susunan seri-pararel[3]. Dalam penelitian ini menggunakan metoda konduksi panas sistem dua fasa yang artinya campuran dari dua macam bahan yakni polipropilena (matriks) dan pasir (*filler*).

Dengan menggunakan perumusan model konduksi panas seri-pararel oleh *Y. Agari* dan *T. Uno* [6] dalam persamaan 2.4, dapat diperoleh nilai koefisien C_1 dan C_2 seperti yang ditunjukkan dalam Tabel (2), dengan nilai C_1 berkaitan dengan perubahan konduktivitas panas bahan polimer karena pengaruh partikel pengisi dan nilai C_2 merupakan faktor kemudahan pembentukan medium konduktif oleh partikel pengisi dalam komposit.

Dari Tabel 2, terlihat bahwa nilai C_1 untuk komposit polipropilena MF2-pasir mempunyai nilai yang lebih besar daripada polipropilena MF10-pasir, namun keduanya mempunyai nilai kurang dari satu. Dengan demikian untuk

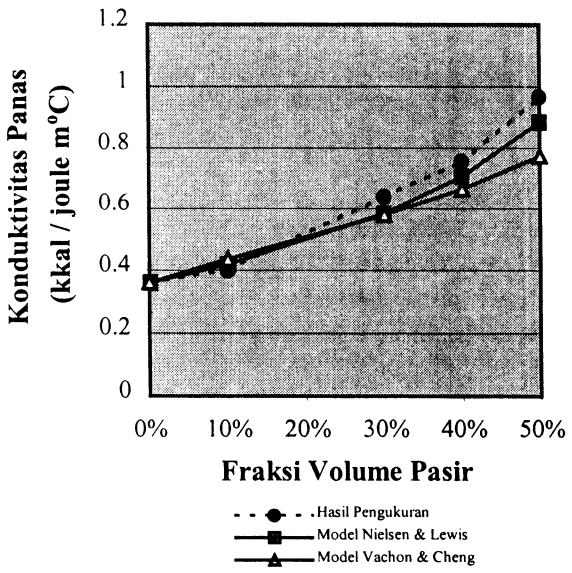
nilai C_2 untuk komposit PP MF10-pasir lebih besar daripada PP MF2-pasir dan keduanya mempunyai nilai kurang dari satu. Sehingga dapat dikatakan pasir dalam komposit PP MF2 lebih berperan dalam menaikkan konduktivitas panas daripada pasir dalam komposit PP MF10, namun tidak mudah dalam membentuk medium konduktif. Hal ini disebabkan karena matriks sendiri dalam komposit tersebut mempengaruhi perilaku pengisi dalam menunjang pembentukan sifat panas komposit Semestinya dengan kemudahan pembentukan medium konduktif pada bahan komposit oleh partikel pengisi pasir disertai pula kenaikan peran peningkatan konduktivitas panas .

Tabel 2. Nilai Parameter C_1 dan C_2 Komposit Sistem Dua fasa

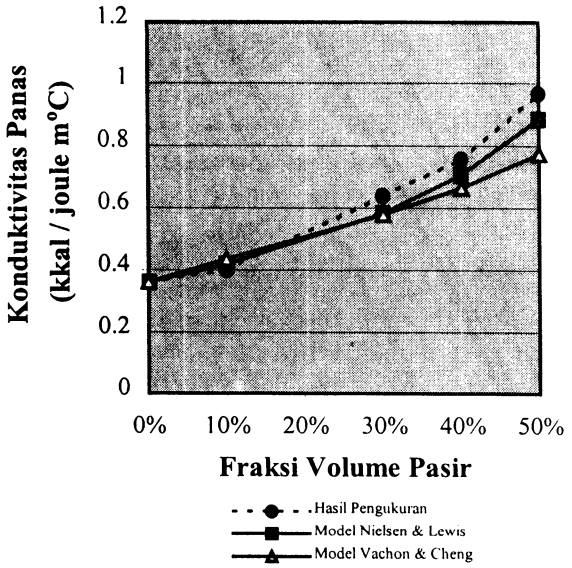
Komposit	Parameter	
	C_1	C_2
PP MF2 - Pasir	0,2031	-1,1540
PP MF10 - Pasir	0,1987	-0,0118

Kemudian dengan adanya faktor yang berpengaruh yakni pada polipropilena *melt flow 2* mempunyai derajat kristalinitas yang lebih besar daripada polipropilena *melt flow* 10, dimana besarnya konduktivitas panasnya bergantung pada derajat kristalinitas. Dengan hadirnya fasa kristal yang besar kemungkinan atom-atom untuk bergerak (translasi, rotasi, dan vibrasi) semakin mudah untuk mentransfer energi termal.

Selanjutnya pada penelitian ini digunakan teori dan model empiris untuk menunjang hasil percobaan yang telah dilakukan. Dari hasil perhitungan dan pengukuran teoritis konduktivitas panas komposit PP MF2-Pasir dan PP MF10-pasir dapat dibuat grafik seperti Gambar 3 dan 4, sehingga dapat diketahui perbandingan antara hasil pengukuran konduktivitas panas dengan perhitungan teoritis.



Gambar 3. Grafik perbandingan antara hasil pengukuran dan prediksi teoritis konduktivitas panas pada komposit PP MF2-Pasir



Gambar 4. Grafik perbandingan antara hasil pengukuran dan prediksi teoritis konduktivitas panas pada komposit PP MF10-Pasir

Dari grafik 3 dan 4 di atas dapat diamati bahwa untuk komposit PP MF2-Pasir dan komposit PP MF10-Pasir, dari kedua model teoritis yang digunakan, ternyata model *Lewis* dan *Nielsen* yang mendekati hasil eksperimen atau pengukuran konduktivitas panas dalam penelitian ini[2]. Kedua model tersebut sebelumnya telah digunakan oleh *I.H. Tavman* [9] pada komposit polimer termoplastik-$CaCo_3$ tanpa memperlakukan partikel pengisi dengan *coupling agent.*

Namun demikian model teoritis konduktivitas panas untuk komposit PP MF2-Pasir dan komposit PP MF10-Pasir tersebut masih belum mendekati pengukuran empiris dan kurang akurat, hal ini nampak simpangan yang terlalu besar dari perhitungan teoritis yang ada. Dan kedua model ini belum dapat memprediksikan kontribusi partikel pengisi dalam meningkatkan konduktivitas panas bahan komposit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengamatan, dan perhitungan secara teoritis dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa perubahan fraksi volume *filler* mempengaruhi konduktivitas panas bahan komposit. Semakin meningkat fraksi volume pasir sampai 50% semakin meningkat pula konduktivitasnya. Pemodelan teoritis yang mendekati hasil eksperimen konduktivitas panas ialah model *Lewis* dan *Nielsen.*

DAFTAR ACUAN

1. J.P. HOLMAN, E. JASJFI, *Perpindahan Kalor,* Edisi keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, (1994).

Vol. 2 No. 2, Februari 2000, hal : 21 - 26
ISSN : 1411-1098

2. X. LU, G. XU, Thermally Conductive Polymer Composites for Electronic Packaging, *Journal of Applied Polymer Science*, **Vol. 65**, (1997), 2733-2738.
3. MASHURI, *Studi tentang Konduksi Panas pada Bahan Komposit Tiga Fasa*, Tugas Akhir I, ITS Surabaya, (1992).
4. FILDMAN. ODREL, terjemahan Hartono.A.J, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, (1995).
5. F. DANUSSO and G. TIEGI, Strength Versus Composition of Rigid Matrix Particulate Composites, *Polymer*, **Vol. 27**, (1994), 1385-1390.
6. Y. AGARI and T. UNO, Estimation on Thermal Conductivities of Filled Polymers, *Journal of Applied Polymer Science*, **Vol.65**, (1997), 2733-2738.
7. NI NYOMAN RUPIASIH, *Pengaruh Beban Pengisi pada Sifat Mekanik Polimer*, Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
8. BETHA, *Analisis Sifat Kuat Tarik dan Konduksi Panas Bahan Komposit Pilpropilena-Pasir*, Tugas Akhir, ITS Surabaya, 2001.
9. I.H. TAVMAN, Thermal and Mechanical Properties of Copper Powder Filled Poly(ethylene) Composites, *Powder Technology*, **Vol. 91**, (1997),63-67.