- ASBESTOS ADLN - Perpustakaan Unair

PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI KERTAS (PITH) SEBAGAI ASBES

SKRIPSI

QUROTUL AINI

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2005

PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI KERTAS (PITH) SEBAGAI ASBES

SKRIPSI

Sebagai salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga

Oleh :

Qurotul Aini
089911970

Tanggal Lulus : 4 Agustus 2005

Disetujui Oleh :

Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Djoni Izak R, M.Si	**Drs. Siswanto, M.Si**
NIP. 132 058 821	**NIP. 131 836 618**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : **Pemanfaatan Limbah Industri Kertas (Pith) sebagai Asbes**

Penyusun : **Qurotul Aini**

Nomor Induk : **089911970**

Tanggal Ujian : **4 Agustus 2005**

Disetujui Olah :

Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Djoni Izak R, M.Si	**Drs. Siswanto, M.Si**
NIP. 132 058 821	**NIP. 131 836 618**

Mengetahui :

Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Airlangga

Drs. Pujiyanto, M.S.
NIP. 131 756 001

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan seijin penulis dan harus menyebutkan umbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

Jangan terjebak pada rutinitas "terjebaklah" pada kreativitas

Tiga hal yang tidak boleh anda uacapkan, walau di dalam hati : saya tidak bisa, saya tidak mau, saya tidak layak

Bila anda tidak bisa menjadi lebih baik esok hari daripada sekarang,tanyakan dulu untuk apakah anda memerlukan esok hari ? (rabbi Nahman)

Orang tak pernah maklum apa yang telah dikerjakan, orang hanya mengetahui apa yang harus dikerjakan. (John Buchanan)

Jika anda yakin sedang memperjuangkan kebenaran, maka anda akan tetap merasa nyaman meski dalam kesulitan.

Anda harus menjadi orang yang ingin mengubah diri sendiri untuk mampu memandang dunia.

(Mahatma Gandhi, filosof)

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah S.W.T. yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah S.W.T. yang selalu memberikan rahmat dan hidayahNya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Rasulullah S.A.W. serta para sahabat dan pengikutnya.

Dengan segala keterbatasan yang ada, akhirnya penyusun berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul "Pemanfaatan Limbah Industri Kertas (pith) sebagai Asbes". Skripsi ini disusun sebagai syarat kelulusan akademik tingkat strata satu pada jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga Surabaya.

Penyusun menyadari dalam pembuatan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran selalu penyusun harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukan.

Surabaya, Agustus 2005

Penyusun,

Qurotul Aini

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahi robbil 'alamiin, puji syukur kehadirat Allah S.W.T. yang telah memberikan hidayah dan inayahNya kapada penyusun. Selain itu penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Drs. Djoni Izak R, M.Si dan Bapak Drs. Siswanto, M.Si selaku pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dan memberi nasehat sampai skripsi ini terselesaikan.
2. Bapak Jan Ady, M.Si dan Bapak Drs. Muzaki selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang menunjang isi dari skripsi ini.
3. Bapak Drs. Pujiyanto M.S. selaku ketua jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unair dan sebagai dosen wali.
4. Ayahanda dan Ibundaku, mbak Leli dan family, Iis, Fida, miss Nisa'
5. Kepala Lab Bahan Bapak Drs.M.Zainuri, M.Si, Pak Sukir, teman-teman di Lab yang sama : Siti, m' Wiwid S.Si M.Si (UI), Nining, Novrian, Yusuf, Iswanto S.Si (ITB), Rosida S.Si, M Rahma S.T, M Lilik S.T.Geng SMU Nana, Ika, Nuning. Geng 31 depan Siswati, Ari, Eva, Yanus, Berli, Watik, M Nur, M Indah, Iga, Diana, Fida.
6. Bapak Drs. Arif Wibowo (pembimbing karya tulis MTQ Mahasiswa), Bu Trijas, Tim PIMNAS Padang (Siban, Aris, Nur Lail, Shinta, Dewi).
7. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, yang telah membantu sampai skripsi ini terselesaikan.

Qurotul Aini, 2005, Judul skripsi "Pemanfaatan Limbah Industri Kertas (pith) sebagai Asbes". Skripsi ini di bawah bimbingan Drs. Djoni Izak R, M.Si dan Drs. Siswanto, M.Si staf pengajar di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Asbes yang merupakan material bangunan adalah gabungan dari mineral asbestos dan semen, mineral asbestos kurang baik untuk kesehatan, oleh karena itu perlu dicari alternatif, diantaranya memanfaatkan serat alam berupa serat tebu (pith) digabungkan dengan mortar (semen-pasir), serat tebu selama ini dicampurkan dengan resin, cenderung mahal dan mengganggu kesehatan. Dengan perbandingan variasi fraksi volume pasir dan serat (10 %, 15 %, 20 %, dan 25 %) : (10 %, 20 %, dan 30 %). Pencampuran dengan air dan pengeringan selama 28 hari pada temperatur ruang. Pengujian terhadap bahan komposit memperhitungkan beberapa nilai, yaitu densitas sebesar 1,67 g/cm^3, porositas 0,007 sampai 0,124, untuk modulus elastisitasnya 1,63 kN/mm^2 sampai 3,67 kN/mm^2 melalui pengujian tekan, dan konduktivitas termal 0,19 kkal/mh^{0}C sampai 0,745 kkal/mh^{0}C dan radiasi termal bahan 0,305 kkal/mh^2.

Kata kunci : *Pith*, Asbes

Qurotul Aini, 2005,'The Advantags Waste of Pulp Industries (pith) as Asbes',. The undergraduate thesis was done under guidance of Drs. Djoni Izak R, M.Si and Drs. Siswanto M.Si, Physics Departement, faculty of Mathematic and Natural Science, Airlangga University.

ABSTRACT

Asbes used in building materials is compound of asbestos mineral and cement, asbestos mineral destructive about healty, it is necessary makes the alternative, this is can be used the natural fiber about baggase (pith) compounds within mortar (paste-fine aggregate) as asbes with composite methode, this time baggase is compound within resin for building materials more expensive and destructive about healty. Used volume fraction of fine aggregate and fibers (10 %, 15 %, 20 %, and 25 %) : (10 %, 20 %, and 30 %) mixtured with the water and curing for 28 days in room temperature. This research considered some variable, and the result density is 1,67 g/cm^3, porosity is 0,007 until 0,124, modulus elasticity is 1,63 kN/mm^2 sampai 3,67 kN/mm^2 with compressive test, thermal conductivity is 0,19 kkal/mh^{0}C until 0,745 and thermal radiation of materials is 0,305 kkal/mh^2.

Key words : Pith, Asbes

DAFTAR ISI

Lembar Judul

Lembar Pernyataan

Kata Pengantar i

Ucapan Terima Kasih..... ii

Abstrak..... iii

Abstract..... iv

Daftar Isi..... v

Daftar Tabel..... vii

Daftar Gambar..... ix

Daftar Lampiran x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah..... 3

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah..... 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Asbes 5

2.2 Teori Komposit..... 6

2.3 Bahan Penyusun Komposit 11

2.3.1 Semen 12

2.3.2 Pasir (Agregate Halus) 13

2.3.3 Tebu (*Saccharomyces officinarum*) 15

2.4 Penyusunan Bahan 16

2.5 Perpindahan Kalor 18

2.5.1 Konduksi 19

2.5.1.1 Konduksi Kalor satu Dimensi 21

2.5.1.2 Konduksi Keadaan *Steady* dalam Dimensi Rangkap 22

2.5.2 Radiasi 24

2.5.2.1 Radiasi Termal 24

2.5.2.2 Radiasi Benda Hitam 25

2.5.2.3 Radiasi dari Permukaan Nyata 26

2.5.3.3 Faktor Bentuk Radiasi 27

2.5 Uji Mekanik 28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 30

3.2 Bahan dan Alat Penelitian 30

3.3 Prosedur Penelitian 31

3.3.1 Persiapan Bahan Baku 32

3.3.2 Pembuatan Sampel 35

3.4 Karakterisasi Sampel 35

3.4.1 Pengukuran Densitas 35

3.4.2 Pengukuran Porositas 36

3.4.3 Pengujian Tekan 36

3.4.4 Pengukuran Modulus Elastisitas 37

3.4.5 Pengukuran Konduktivitas Termal 37

3.4.6 Pengukuran Radiasi Termal 38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh variasi Fraksi Volume terhadap Nilai Densitas..... 45

4.2 Pengaruh variasi Fraksi Volume terhadap Porositas..... 47

4.3 Pengaruh variasi Fraksi Volume terhadap Nilai Modulus Elastisitas..... 50

4.4 Pengaruh variasi Fraksi Volume terhadap Nilai Konduktivitas Termal Mortar-*Pith*..... 52

4.5 Pengaruh variasi Fraksi Volume terhadap Nilai Emisivitas Mortar-Pith 54

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 55

5.2 Saran..... 56

DAFTAR PUSTAKA 57

LAMPIRAN 58

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Ukuran Pasir	14
2.2	Karakterisasi Serat Tebu	15
3.1	Nilai fraksi volume dan massa filler-matrik pada mortar	32
3.2	Variasi fraksi volume campuran pasir-semen-*pith*	33
3.3	Perhitungan masa komposit (pasir-semen-pith)	33
4.1	Nilai modulus elastisitas bahan percobaan	41
4.2	Nilai modulus elastisitas teoritis mortar	41
4.3	Nilai modulus elastisitas eksperimen mortar	42
4.5	Nilai modulus elastisitas teoritis dan eksperimen	45
4.6	Nilai Vf terhadap konduktivitas termal mortar-*pith*	53
4.7	Nilai Vf terhadap radiasi termal mortar-*pith*	54

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Model Komposit Unidirekional dalam perlakuan longitudinal	7
Gambar 2.2	Model Pendekatan Sifat Transversal komposit unidireksional	8
Gambar 2.3	Skema Sistem Komposit	8
Gambar 2.4	Grafik *Upper Lower Bound*	10
Gambar 2.5	Sketsa Yang Melukiskan Perjanjian Tentang Tanda Untuk Perpindahan Kalor konduksi	20
Gambar 2.6	Perubahan Konduktivitas Termal sebagai Zat Padat	21
Gambar 2.7	Sketsa yang menunjukkan Perpindahan Kalor dalam Dimensi Rangkap	23
Gambar 2.8	Perbandingan antara Daya Pancar Permukaan Nyata Benda Hitam dan Kelabu	26
Gambar 2.9	Diagram Tegangan Regangan	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1.a	Grafik *Upper Lower Bound* Mortar	43
Gambar 4.1.b	Grafik *Upper Lower Bound* Mortar-*Pith*	44
Gambar 4.2	Grafik Nilai Vf Terhadap Densitas Mortar	46
Gambar 4.3	Grafik Nilai Vf Terhadap Densitas Mortar-*Pith*	47
Gambar 4.4	Grafik Nilai Vf Terhadap Porositas Mortar	48
Gambar 4.5	Grafik Nilai Vf Terhadap Porositas Mortar-*Pith*	49
Gambar 4.6	Grafik Nilai Vf Terhadap Modulus Elastisitas Mortar	50
Gambar 4.7	Grafik Nilai Vf Terhadap Modulus Elastisitas Mortar-*Pith*	51
Gambar 4.8	Grafik Nilai Vf Terhadap Konduktivitas Termal Mortar-*Pith*	52
Gambar 4.9	Grafik Nilai Vf Terhadap Emisivitas Mortar-*Pith*	54

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
1	Perhitungan DEnsitas dan Porositas	58
2	Perhitungan nilai *upper* dan *lower bound*	59
3	Data Uji Modulud Elastisitas Mortar	64
4	Nilai Karakteristik Produk Asbes di Pasaran	70
5	Penurunan Persamaan *Upper* dan *Lower Bound*	71
6	Gambar Berbagai Alat Uji	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi material dewasa ini sangat pesat perkembangan dan penerapannya di masyarakat serta lingkupnya sangat luas, beberapa sifat material seperti sifat mekanik, sifat termal, dan beberapa sifat fisis yang lainnya dapat dikembangkan melalui beberapa proses agar memenuhi standart kualifikasi yang dipersyaratkan.

Salah satu proses rekayasa material adalah metode pembuatan bahan dengan teknik rekayasa bahan yang biasa disebut dengan komposit material. Komposit material merupakan rekayasa material yang banyak dikembangkan pada saat ini karena beberapa keunggulan yang dimilikinya. Beberapa keunggulan metode komposit diantaranya sifat mekanik dan sifat fisis yang dapat diprediksi secara kuantitatif berdasarkan teori-teori analisis mikro.

Bahan komposit secara umum terbagi menjadi dua fase yaitu fase matrik dan fase filler (penguat), dengan syarat terjadi ikatan antar permukaan antara matrik dan penguatnya. Bahan komposit pada umumnya pembuatannya membutuhkan proses yang sederhana dan proses produksinya lebih murah dibandingkan rekayasa material yang lainnya.

Negara Indonesia memiliki potensi alam yang cukup besar, mulai dari hasil keramik (pasir, silika) juga terdapat serat-serat organik, termasuk serat tebu (*pith*), kayu selulosa, bambu, dan jerami yang sifat-sifatnya patut diperhitungkan, antara

lain terhadap sifat mekanik. Serat yang umum digunakan untuk campuran semen portland, misalnya asbestos dan baja.

Pada penelitian ini lebih difokuskan pada material yang selama ini kurang mendapatkan perhatian, yaitu limbah industri kertas atau dikenal dengan *pith*, sehingga pith merupakan bahan organik yang mulanya dari ampas tebu (*Saccharum officinarum*) dan selama ini kurang dimanfaatkan. Bahan yang berupa *pith* tersebut berfungsi sebagai pengisi bahan matrik mortar yaitu campuran semen-pasir/air sebagai alternatif peranan asbestos dalam asbes-semen dengan meninjau sifat mekaniknya (Bentur, Arnon dan Mindess, Sidney, 1990). Dari penelitian yang telah dilakukan bahwa pengembangan produk semen berpenguat serat kayu yang utama berfungsi sebagai pengganti semen asbes, relatif masih baru (Ronald, W. Wolfe dan Gjinolli, 1997). Bahkan selama ini yang berfungsi sebagai matriknya berupa resin kurang diperhitungkan dari segi biaya, sebagaimana dinyatakan bahwa komposit semen kayu dianggap penting, karena pembuatan komposit kayu secara konvensional yang diikat resin lebih mahal dan sukar mendapatkannya (Kavvouras, 1987, Badejo 1988, Alberto *et al*, 2000).

Dalam penelitian ini akan dilakukan penggabungan terhadap ketiga bahan tersebut, yaitu pembuatan mortar (pasta-pasir) dicampur dengan *pith* menggunakan metode komposit isotropik berdasarkan fraksi volume fillernya (perekayasa) dan matrik (yang direkayasa) sehubungan dengan pemanfaatannya sebagai material bangunan misalnya asbes untuk langit-langit, panel (dinding pembatas ruangan), dan papan (*boards*) .

Dalam pembuatan material memperhatikan karakteristik yang dimiliki, sehingga dari material gabungan akan diperoleh produk yang efisien dalam

penggunaannya, seperti nilai kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan sebagai salah satu alternatif rekayasa material dengan menggabungkan dua bahan atau lebih, yang berbeda sifatnya guna menghasilkan sifat fisis baru.

Pembuatan produk menggunakan perbandingan variasi fraksi volume pasir dan serat (10 %, 15 %, 20 %, dan 25 %) : (10 %, 20 %, dan 30 %), yang mana penambahan fraksi volume akan meningkatkan nilai modulus elastisitasnya. Dalam komposit ikatan yang terjadi merupakan ikatan antar permukaan, sehingga kita perlu mengetahui sifat mekaniknya karena kaitannya dengan perlakuan eksternal (modulus elastisitas), sifat fisika (densitas dan porositas), dan perlakuan termal yaitu konduktivitas termal dan emisivitas.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang dikemukakan, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat fisis, sifat mekanik, dan sifat termal asbes yang terbuat dari limbah industri kertas (*pith*) tersebut dengan adanya penambahan fraksi volume filler dibandingkan dengan asbes yang berada di pasaran ?
2. Apakah limbah industri kertas (*pith*) berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan alternatif asbes?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah yang akan dibahas, antara lain :

1. Bahan berupa serat tebu (*pith*) berasal dari limbah padat dari industri kertas di daerah Leces, Probolinggo.

2. Karakteristik fisis meliputi densitas dan porositas, karakteristik mekanik meliputi modulus elastisitas, dan karakteristik termal meliputi konduktivitas dan radiasi termal.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat membuat asbes dengan menggunakan bahan baku limbah industri kertas (*pith*).
2. Menentukan karakteristik asbes yang meliputi sifat fisis (porositas dan densitas), sifat mekanik (modulus elastisitas), dan sifat termal (konduktivitas termal dan radiasi termal).

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memperoleh bahan alternatif untuk pembuatan asbes sebagai material bangunan, misalnya dinding pembatas ruangan (panel). Selain itu diharapkan mampu memberi informasi untuk menambah wawasan khususnya bagi peneliti mengenai bahan komposit semen-pasir (mortar) dan perkembangannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Asbes

Asbes adalah nama perdagangan dari mineral tertentu yang dapat dipisahkan menjadi serabut-serabut dan tidak dapat dibakar, mempunyai koefisien daya hantar panas 0,12 J/det ^{0}Cm. Asbes sama sekali tidak terbakar dan tahan suhu sampai 700^0 C (Sukandarmudi, 1999). Mineral asbes merupakan silikat rantai sederhana atau pyroxane dibentuk oleh $(SiO_3)_n^{2n-}$. Pada umumnya bersifat amphiboles (rantai ganda dapat dibentuk ketika dua rantai sederhana bergabung bersama oleh O_2), berdasarkan pada unit struktur $(Si_4O_{11})_n^{6n-}$, contoh struktur $Ca_2Mg_5(SiO_4O_{11})_2](OH)_2$ dan crocidolite $Na_2Fe_3^{1}Fe_2^{111}[Si_8O_{22}](OH)_2$, amphiboles terdiri dari kelompok hidroksil yang dekat dengan ion logam (Lee, J. D, 1991).

Mineral asbes memiliki dua kelompok silikat yang berbeda, yaitu :

1. Amphiboles

   Termasuk di dalamnya adalah crocidolite (asbes biru), amosite (asbes coklat) sekitar 5 %

2. Serat silikat

   Chrisotile $Mg_3(OH)_4[Si_2O_5]$ (asbes putih) dan serat silikat sekitar 95 % digunakan sebagai asbes.

Asbes bersifat inert (lembam) secara kimia, yang beresiko terhadap kesehatan. Adanya debu-debu asbes dapat mengganggu pernafasan dan paru, dampaknya bersifat toksik (lama baru tampak) sekitar 20-30 tahun, sehingga diperlukan

pengontrolan untuk meminimalkan debu asbes. Filler asbes ini miliki nilai modulus elastisitas sebesar 200 kN/mm^2 (Beaudoin, 2004).

2.2.Teori Komposit

Komposit adalah gabungan dua material atau lebih yang berbeda sifatnya, yang mana terjadi ikatan antar permukaan antara bahan matrik dan filler, dan membentuk sifat fisis yang baru. Tujuan dari pembuatan bahan komposit adalah sebagai bahan alternatif, berdasarkan pada kelemahan bahan secara konvensional, dengan keterbatasan jumlah dan faktor biaya. Komposit terdiri dari beberapa bagian antara lain matriks dan filler. Matrik adalah bahan yang direkayasa untuk tujuan memperbaiki sifat bahan. Sedangkan filler adalah bahan perekayasa, sifat bahan lebih kuat atau lebih keras dibandingkan matrik.

Secara struktur mikro bahan komposit tidak merubah bahan pembentuknya (dalam orde kristalin), tetapi secara keseluruhan bahan komposit berbeda dengan bahan pembentuknya akibat terjadinya ikatan antar permukaan bahan matrik dan filler. Syarat utama terbentuknya komposit adalah adanya ikatan antara matrik dan filler, yang mana ikatannya dapat terbentuk karena adanya gaya adhesi dan kohesi antara keduanya. Dalam material komposit, gaya adhesi dan kohesi timbul melalui tiga cara utama, yaitu :

1. Interlocking antar permukaan (karena pengaruh kekasaran bentuk permukaan partikel)
2. Gaya Elektrostatik (terjadi karena adanya tarik menarik antar muatan atom)

3. Gaya Van der Walls (terjadi karena adanya dipole antara partikel). Gaya Van der Walls merupakan gaya akibat adanya fluktuasi dipol-dipol pada butiran serbuk campuran, dan besar gaya ini dipengaruhi oleh besar gaya kompresi terhadap kekuatan luluh (*yield strength*) dari penguat dan matrik.

Komposit sangat dipengaruhi oleh bahan pembentuknya yaitu matrik dan filler. Sehingga karakteristik bahan komposit tersebut dipengaruhi oleh karakteristik dari matrik dan fillernya, yaitu yang berhubungan dengan skala mikrostruktur, ukuran butir, jarak antar partikel filler dan dislokasi dari matrik.

Klasifikasi komposit dapat dinyatakan sebagai berikut :

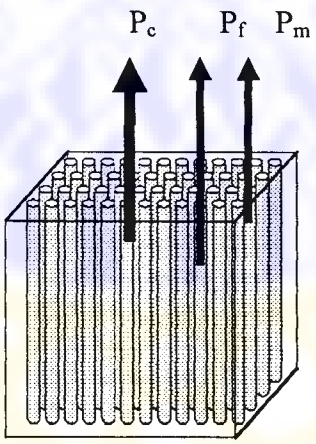
a. Berdasarkan arah gaya tekan yang diberikan, klasifikasi komposit terdiri dari :

   1. Longitudinal

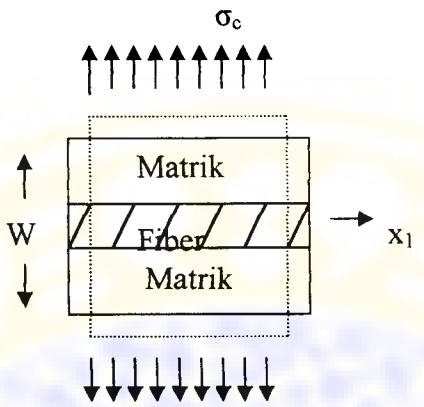
      Jika gaya tekan yang diberikan searah dengan arah penguatannya.

   2. Transversal

      Jika gaya tekan yang diberikan tegak lurus dengan arah penguatannya.

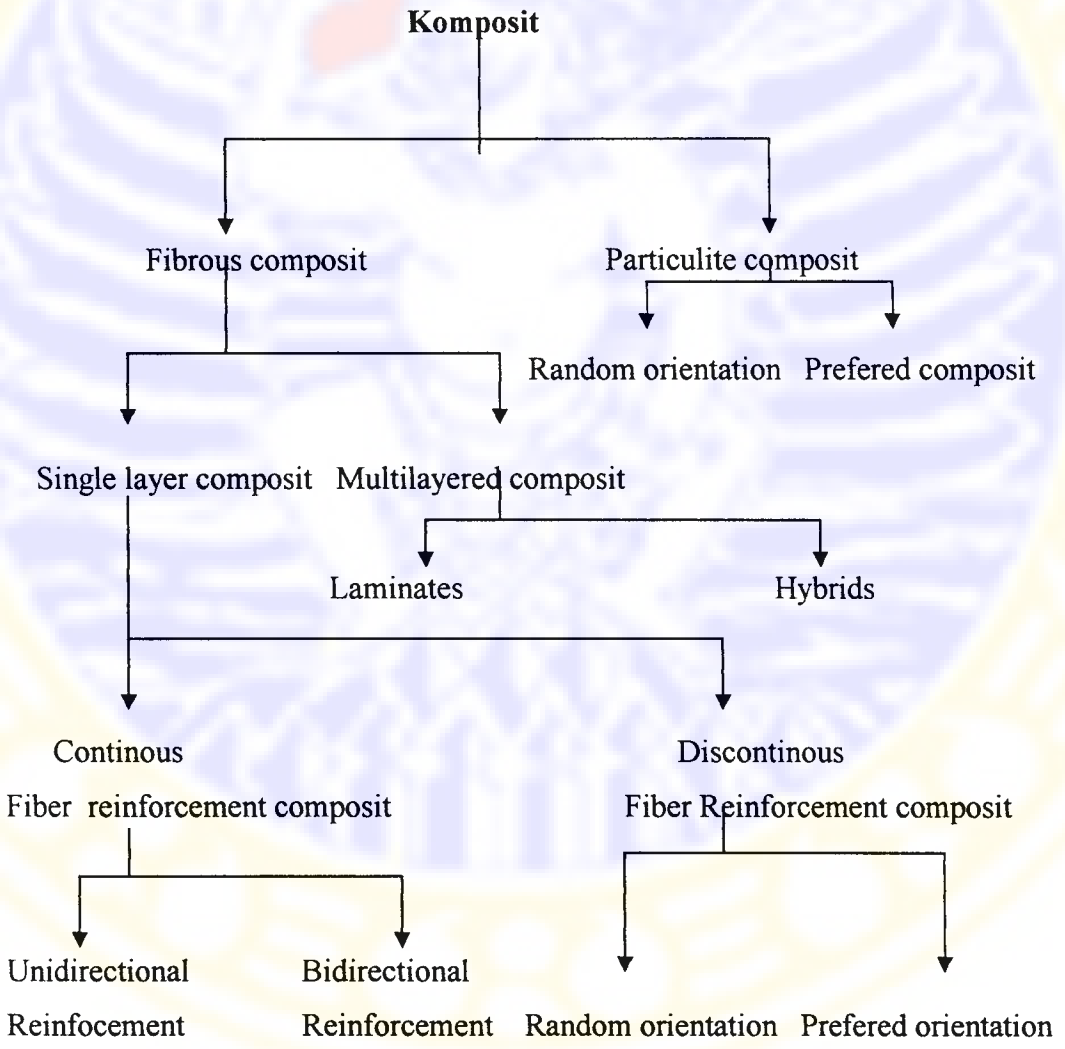


Gambar 2.1. Model komposit unidireksional dalam perlakuan longitudinal



Gambar 2.2. Model pendekatan sifat transversal komposit unidireksional

b. Berdasarkan orientasi filler, klasifikasi komposit disajikan pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Skema sistem komposit

Klasifikasi ini berdasarkan geometri filler, partikulit merupakan partikel yang bentuknya seperti bentuk bola, kubik, tetragonal atau bentuk irregular, sedangkan fiber (fibrous) bila mempunyai panjang filler yang jauh lebih besar dibandingkan dengan diameter penampangnya.

Untuk partikel umumnya memiliki variasi geometri, akan tetapi partikel-partikel ini memiliki ukuran yang sama untuk semua dimensi. Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap sifat komposit, seperti keefektifan penguatan, karena ukuran partikel yang lebih kecil akan tersebar merata di dalam matrik, dan fraksi volume komponen-komponennya akan mempengaruhi sifat komposit. Sehingga dapat diperoleh nilai hubungan antara modulus elastisitas (E) terhadap fraksi volume (V), secara matematis dapat dinyatakan

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f \qquad \text{.....(2.1)}$$

disebut *upper bound*, dan

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \qquad \text{.....(2.2)}$$

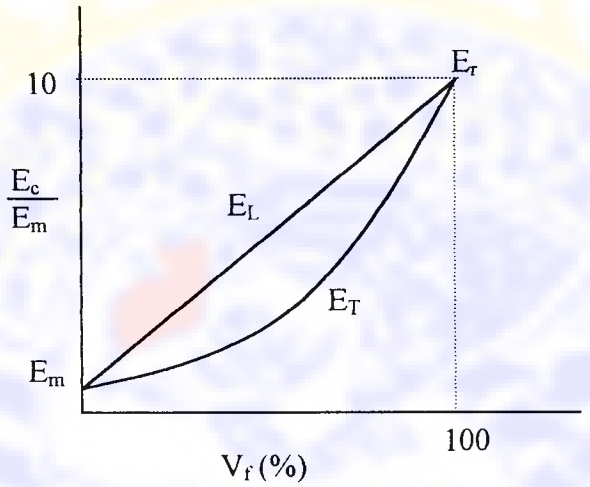
disebut *lower bound*

Atau secara umum modulus elastisitas transversal dinyatakan dengan :

$$E_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \left(V_i / E_i \right)}$$

Dimana E_c, E_m, E_f , V_m, dan V_f secara berturut-turut menyatakan modulus elastisitas komposit, modulus elastisitas matrik, modulus elastisitas filler, fraksi volume matrik, dan fraksi volume filler. Suatu bahan komposit memiliki modulus elastisitas diantara *upper* dan *lower bound*, dan dapat dinyatakan pada gambar 2.4,

dengan $\frac{E_c}{E_m}$ adalah perbandingan antara modulus bahan komposit terhadap modulus elastisitas matriks. Jika diluar batasan tersebut maka bahan tersebut merupakan *aglomerit*.



Gambar 2.4. Grafik upper lower bond V_f terhadap E_c/E_m

Berdasarkan pendekatan secara teoritis, besar modulus elastisitas dapat diperoleh dengan menggunakan persaman Halpin Tsai yaitu dengan pendekatan model tabung dan model kubus, seperti pada perumusan berikut :

Model Tabung

$$E_{random} = \frac{3}{8}E_L + \frac{5}{8}E_T \qquad \text{.....(2.3)}$$

dimana

$$E_L = \frac{E_m\left[1+\left(\xi\eta_L V_f\right)\right]}{1-\eta_L V_f}$$; modulus elastisitas dalam arah longitudinal.....(2.3a)

$$E_T = \frac{E_m\left[1+\left(\xi\eta_T V_f\right)\right]}{1-\eta_T V_f}$$; modulus elastisitas dalam arah transversal……(2.3b)

dengan

$$\eta_L = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right)-1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right)+\xi_L}$$; ……(2.3c)

$$\eta_L = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right)-1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right)+\xi_T}$$ …….(2.3d)

ξ_L =2 ;

ξ_L =2l/d

Model Kubus

$$\frac{E_c}{E_m} = \frac{E_m + \left(E_f - E_m\right)V_f^{2/3}}{E_M + \left(E_f - E_m\right)V_f^{2/3}\left(1 - V_f^{1/3}\right)}$$ ……(2.4)

Perbandingan nilai tinggi dan diameternya ≤ 1

2.3. Bahan Penyusun komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua bahan atau lebih yang berbeda sifatnya, dan membentuk sifat fisis yang baru tanpa merubah sifat-sifat bahan penyusunnya, dengan harapan dari kedua material yang digabungkan tersebut memiliki kualitas yang lebih baik Dalam pemakaiannya campuran semen air atau disebut pasta biasa ditambahkan agregat, dalam hal ini menggunakan *fine aggregate* atau pasir, karena ditinjau dari sifat mekanisnya, pasir memiliki

modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasta, sehingga keefektifan masing-masing material berada pada daerah yang proporsional.

2.3.1. Semen

Semen adalah bahan keramik yang bersifat relatif lemah dan *brittle*. Semen merupakan bahan perekat hidraulis yang dihasilkan dengan cara menggiling halus klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan tambahan atau pembantu berupa gips. Dimana klinker terbuat dari batu kapur ($CaCO_3$, tanah liat dan bahan dasar berkadar besi) (**Standar Industri Indonesia, 0013-1981**). Disamping itu semen memiliki sifat adesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat dan disebut semen portland karena setelah mengeras semen mirip dengan batuan Portland yang ada di Dorset, Inggris (**Wang & Salmon, 1992**).

Kandungan semen portland terdiri dari kapur (60% - 67%), silika (17% - 25%), alumunium (3% - 8%), besi (0,5% - 6%), magnesium (0,1% - 4%), sulfat (1%- 2,75%), dan alkali lain (0,5% - 1%). Sedangkan reaksi kimia yang terjadi pada semen portland dimana semen portland mengandung 5 (lima) oksida kimia yaitu: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO dan MgO, didalam klin dengan temperatur 1.350^0 C terbentuk komponen semen yang terdiri dari :

SiO_2 dengan CaO $\longrightarrow$ $3CaO.SiO_2$ $\longrightarrow$ C_3S

SiO2 dengan CaO $\longrightarrow$ 2CaO.SiO2 $\longrightarrow$ C_2S

Al_2O_3 dengan Ca $\longrightarrow$ $3CaO.Al_2O_3$ $\longrightarrow$ C_3A

Fe_2O_3 dengan CaO $\longrightarrow$ $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ $\longrightarrow$ C_4AF

Semen portland dan air akan terhidrat dan membentuk beton keras, yang mana kekuatan beton akan terus bertambah dari umur 3 hari, 7 hari, 28 hari, enam bulan, satu tahun dan reaksi terhidrat akan berhenti dan kekuatan beton tetap tidak bertambah lagi setelah satu tahun.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland dibagi menjadi 5 jenis, dan semen portland yang penggunaannya lebih sering dalam bahan bangunan, yaitu jenis I atau tipe I, karena tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain, jenis paling banyak diproduksi.

2.3.2. Pasir (aggregate halus)

Agregate halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut.

Syarat mutu dari aggregate halus adalah sebagai berikut :

1. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), dalam berat maksimum :
   - untuk beton yang mengalami abrasi 3,0.
   - untuk jenis beton lainnya 5,0.
2. Kadar gumpalan tanah liat atau partikel yang mudah direpihkan, maksimum 3,0 %.
3. Kandungan arang dan lignin
   - Bila tampak permukaan beton dianggap penting, kandungan maksimum 30 %.
   - Untuk beton jenis lainnya, maksimum 1, 0 %.

4. Agregat harus bebas dari pengotoran zat organik yang merugikan beton.
5. Agregat halus yang digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah atau lembab atau berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam mortar. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.
6. Susunan besar butir (grading)

Tabel 2.1 Ukuran pasir

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,60	25-60
0,30	10-30
1,5	2-10

Dari semen air atau pasta dan pasir yang terikat di dalamnya sehingga membentuk material komposit yang dinamakan dengan mortar (Bentur, Arnon dan Mindess, Sidney, 1990) , kemudian ditambahkan serat organik yaitu serat tebu yang juga membentuk komposit baru, dan akan dimanfaatkan atau dibuat produk.

2.3.3. Tebu (*Saccharum officinarum*)

Merupakan tanaman perkebunan industri berupa rumput tahunan, di dalam batangnya terkandung sekitar 20 % cairan gula. Klasifikasi tanaman Tebu adalah sebagai berikut :

Divisi : Spermatophyta

Sub divisi : Angiospermae

Kelas : Monocotyledonae

Familia : Poaceae

Genus : Saccharum

Species : *Saccharum officinarum*

Batang tanaman tebu merupakan sumber gula. Namun demikian rendeman atau presentase gula yang dihasilkan hanya berkisar 10-15 %, sisa pengolahan batang tebu salah satunya adalah ampas tebu yang merupakan hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu, dimanfaatkan sebagai bahan bakar pabrik, bahan industri kertas, dan *particle board*. Sedangkan pith merupakan serat tebu yang berupa limbah atau sudah tidak digunakan lagi dari industri kertas. Berikut beberapa karakteristik kandungan *pith*.

Tabel 2.2 Karakterisasi serat tebu (*pith*)

Kandungan	Massa (%)
SiO_2	64,372
SO_3	3,263
K_2O	0,843
CaO	26,409
TiO_2	0,558
Mn_2O_3	0,127
Fe_2O_3	4,385
ZnO	0,042

Beberapa sifat mekanik dan sifat fisik serat alam yang patut dipertimbangkan, dalam rangka pemanfaatannya adalah dalam hal ini *pith*, berat jenis 0,178 gr/cm^3 dan modulus elastisitasnya 212 MPa. Dari ketiga bahan untuk eksperimen tersebut akan digabungkan membentuk komposit baru berdasarkan sifat-sifatnya melalui eksperimen.

2.4. Penyusunan Bahan

Penyusunan bahan merupakan tahap awal dalam pembuatan bahan komposit, tahap ini meliputi pemilihan bahan yang akan digunakan sehingga menghasilkan produk sesuai dengan kebutuhan. Setelah memperoleh bahan yang dimaksud selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap bahan tersebut, yaitu meliputi identifikasi kualitatif berkaitan dengan sifat-sifat fisik maupun mekanisnya, dan perkiraan sifat mekanis bahan komposit segi kuantitatif untuk memprediksi besar massa bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan bahan komposit dengan memperkirakan besar fraksi volume dan fraksi berat bahan yang digunakan.

Pada komposit isotropik, volum komposit merupakan penjumlahan dari volume matrik dan filler.

$$V_c = V_f + V_m \tag{2.5}$$

Dan besar fraksi volume komposit merupakan jumlah dari fraksi volume filler dan matriknya :

$$V_f + V_m = 1 \tag{2.6}$$

dengan : $V_f = \frac{v_f}{v_c}$ dan $V_m = \frac{v_m}{v_c}$

dimana V_f, V_m, v_f, v_m dan v_c secara berturut-turut adalah fraksi volume filler, fraksi volume matrik, volume filler, volume matrik, dan volume komposit.

Fraksi berat dapat dihitung dengan menggunakan rumusan :

$$w_c = w_f + w_m \qquad \text{.....(2.7)}$$

$$W_f + W_m = 1 \qquad \text{.....(2.8)}$$

dengan $W_f = \dfrac{w_f}{w_c}$ $\qquad W_m = \dfrac{w_m}{w_c}$

dimana W_f, W_m, W_c, w_f, dan w_m secara berturut-turut adalah fraksi berat filler, fraksi berat matrik, fraksi berat komposit, berat filler, dan berat matrik.

Rapat jenis atau densitas dapat dihitung dengan menggunakan rumusan :

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad \text{.....(2.9)}$$

Dengan berdasar pada persamaan 2.5, jika besar densitas dari matrik dan filler diketahui, maka dapat diperoleh densitas komposit dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho_c V_c = \rho_f V_f + \rho_m V \qquad \text{.....(2.10)}$$

Jika dihubungkan dengan fraksi berat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\dfrac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\dfrac{W_m}{\rho_m}\right)} \qquad \text{.....(2.11)}$$

Sehingga diperoleh hubungan antara berat jenis, fraksi volume dan fraksi berat sebagai berikut :

$$W_f = \frac{\rho_f / \rho_m}{\rho_f / \rho_m (v_f) + v_m} V_f \qquad \text{.....(2.12)}$$

$$W_m = \frac{1}{\rho_f / \rho_m (1 - v_m) + v_m} V_m \qquad \text{.....(2.13)}$$

Untuk komposit dari dua bahan yang tersusun dari dua atau lebih, dapat menggunakan rumus berikut :

$$\rho_c = \sum_{i=1}^{n} \rho_i V_i \qquad \text{.....(2.14)}$$

Secara teori dan eksperimen hasil perhitungannya seringkali mengalami selisih, hal ini dimungkinkan dalam bahan komposit yang dihasilkan terdapat cacat. Dan besarnya fraksi volume cacat yang mungkin terjadi diberikan pada persamaan berikut :

$$V_v = \frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \qquad \text{.....(2.15)}$$

dengan V_v , ρ_{ct} , dan ρ_{ce} adalah fraksi volume cacat, densitas komposit teoritis, densitas komposit hasil eksperimen.

2.5. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari satu daerah ke daerah yang lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi

kalor berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi tertentu.

Perpindahan kalor pada umumnya mengenal tiga cara perpindahan kalor yang berbeda yaitu :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi

2.5.1. Konduksi

Konduksi adalah proses mengalirnya kalor dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan dan bersinggungan secara langsung. Dalam aliran kalor konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul-molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam.

Bila molekul-molekul disatu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul di suatu daerah yang berdekatan. Sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu maka molekul-molekul yang memiliki energi lebih besar itu akan memindahkan energinya kepada molekul-molekul daerah yang bersuhu rendah. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastis atau dengan pembauran

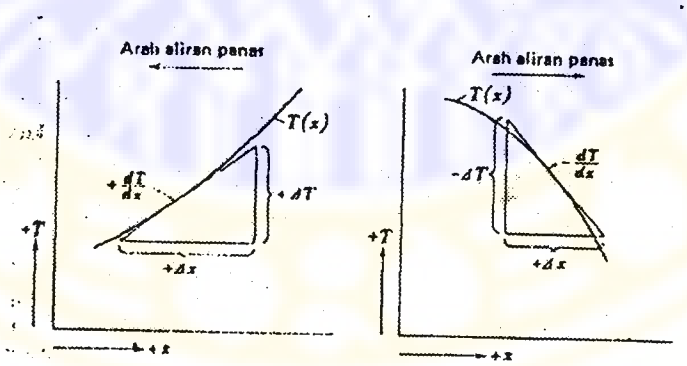
elektron-elektron yang bergerak lebih cepat dari daerah-daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah.

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana kalor dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi didalam medium-medium yang bukan zat padat biasanya tergabung dengan konveksi dan dalam beberapa hal dengan radiasi.

Hubungan dasar untuk perpindahan kalor dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Perancis, J. B. J. Fourier, pada tahun 1882. Jika pada suatu benda terdapat suatu gradien suhu maka perpindahan energi akan terjadi pada suhu yang tinggi ke bagian suhu yang rendah. Energi berpindah secara konduksi jika laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan gradien suhu normal.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \qquad \text{.....(2.16)}$$

Berdasarkan hukum kedua termodinamika kalor akan mengalir secara otomatis dari titik yang bersuhu lebih tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah, maka aliran panas akan menjadi positif bila gradien suhu negatif.



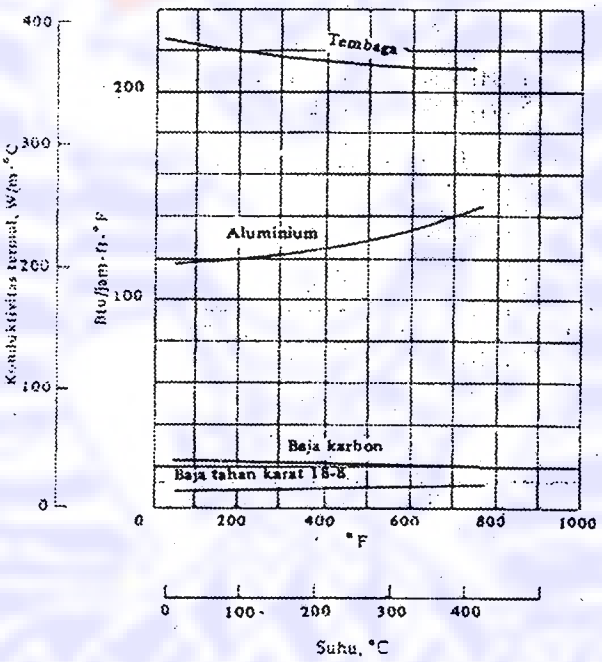
Gambar 2.5. Sketsa yang melukiskan perjanjian tentang tanda untuk perpindahan kalor konduksi.

Sesuai dengan hal itu persamaan dasar konduksi satu dimensi *steady* ditulis :

$$q = -kA\frac{dT}{dx} \qquad \text{.....(2.17)}$$

dengan q, k, A, dan dT/dx secara berurutan adalah laju perpindahan kalor (watt), konduktivitas termal (W/m ^{0}C), luas penampang (m^2), dan gradien suhu ke arah perpindahan kalor (^{0}C/m).

Konduktivitas termal k adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu-satuan luas jika gradien suhunya satu.



Gambar 2.6. Perubahan Konduktivitas termal berbagai zat padat.

2.5.1.1. Konduksi Kalor Satu Dimensi Steady

Penerapan hukum Fourier tentang konduksi termal untuk menghitung aliran termal dalam sistem sederhana satu dimensi untuk berbagai bentuk fisik

yang berlainan. Pada suatu dinding datar dapat menerapkan hukum Fourier jika persamaan 2.17 diintregasikan maka didapatkan :

$$q = -\frac{kA}{\Delta x}(T_2 - T_1) \qquad \text{.....(2.18)}$$

Bilamana konduktivitas termal dianggap tetap, tebal dinding adalah Δx, sedangkan T_1 dan T_2 adalah suhu muka dinding.

Perubahan konduktivitas termal terhadap suhu dapat diabaikan bila daerah suhu yang dibahas tidak terlalu besar atau ketergantungan konduktivitas terhadap suhu tidak terlampau besar. Sebaliknya bila beda suhu dalam suatu sistem yang menyebabkan perubahan konduktivitas termal yang besar maka ketergantungan terhadap suhu harus diperhitungkan.

Untuk banyak bahan terutama dalam daerah suhu yang terbatas, berubahnya konduktivitas termal terhadap suhu dapat digambarkan fungsi linier :

$$k(T) = k_0(1 + \beta T) \qquad \text{.....(2.19)}$$

dimana k_0 adalah konduktivitas termal pada T=0 dan β adalah koefisien suhu konduktivitas termal. Jika konduktivitas termal berubah menurut hubungan linier dengan suhu, perpindahan kalor dengan cara konduksi melalui dinding datar akan didapatkan :

$$q = -\frac{k_0 A}{\Delta x}\left[(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2}(T_2^2 - T_1^2)\right] \qquad \text{.....(2.20)}$$

2.5.1.2. Konduksi Keadaan *Steady* dalam dimensi rangkap

Tujuan analisa perpindahan kalor adalah meramalkan laju aliran kalor atau distribusi suhu. Dalam sistem dua dimensi tanpa sumber kalor persamaan yang mengatur distribusi suhu dalam keadaan *steady* adalah :

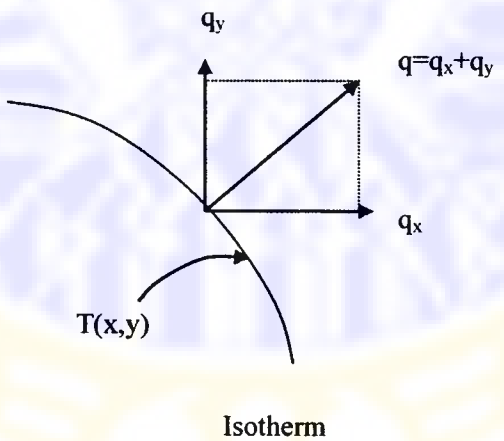
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \qquad \text{.....(2.21)}$$

Jika konduktivitas termalnya seragam penyelesaian persamaan (2.21) akan menghasilkan T (x,y), suhu sebagai fungsi kedua koordinat ruang x dan y. Laju aliran kalor persatuan luas dalam arah x dan y dapat diperoleh dalam hukum Fourier, masing-masing :

$$\left(\frac{q}{A}\right)_x = -k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad \text{.....(2.22)}$$

$$\left(\frac{q}{A}\right)_y = -k\frac{\partial T}{\partial y} \qquad \text{.....(2.22)}$$

Perlu dicatat meskipun suhu adalah suatu skalar, namun fluks kalor tergantung dari gradien suhu yang merupakan suatu vektor. Laju total perpindahan kalor pada titik tertentu x, y adalah resultant q_x dan q_y. Pada titik itu dan arahnya tegak lurus pada isoterm seperti ditunjukkan dalam gambar (2.7). Jadi jika distribusi suhu dalam sistem diketahui, maka laju perpindahan kalor dapat dihitung. Maka biasanya analisa perpindahan kalor dipusatkan pada penentuan suhu.



Gambar 2.7. Sketsa yang menunjukkan perpindahan kalor dalam dimensi rangkap.

2.5.2. Radiasi

2.5.2.1. Radiasi Termal

Radiasi adalah proses yang mana kalor mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut. Istilah radiasi pada umumnya dipergunakan untuk segala sesuatu yang berhubungan dengan gelombang elektromagnetik, tetapi dalam ilmu perpindahan kalor hanya memperhatikan segala sesuatu yang diakibatkan oleh suhu dan yang dapat mengangkut energi melalui medium yang tembus cahaya.

Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus menerus. Mekanisme fisik radiasi belum sepenuhnya dimengerti oleh banyak orang. Energi radiasi kadang-kadang kita bayangkan sebagai energi yang terangkut oleh gelombang-gelombang elektromagnetik dan kadang pula oleh foton-foton.

Dari titik pandang kuantum energi diangkut oleh foton-foton mempunyai kecepatan yang sama tetapi selalu terdapat distribusi energi diantara foton-foton itu. Energi yang berkaitan dengan tiap-tiap foton adalah :

$$E = h.\ \nu \qquad \text{.....(2.24)}$$

dimana h dan ν secara berurutan adalah konstanta Planck ($6{,}625 \times 10^{-34}$ J.s) dan frekuensi radiasi (hertz). Spektrum energi juga dapat diuraikan sebagai fungsi dari panjang gelombang λ, yang hubungannya dengan kecepatan rambat dan frekuensi yang diberikan oleh :

$$\lambda = \frac{c}{\upsilon} \qquad \text{.....(2.25)}$$

dimana λ , c, dan ν secara berurutan adalah panjang gelombang (meter), kecepatan cahaya ($3x10^8$ m/s), dan frekuensi radiasi (hertz).

2.5.2.2. Radiasi Benda Hitam

Sebuah benda hitam atau radiator ideal adalah sebuah benda yang pada suhu berapapun memancarkan atau menyerap jumlah radiasi semaksimal mungkin pada panjang gelombang tertentu. Radiator ideal adalah pengertian teoritik yang menetapkan batas-batas pada pancaran radiasi yang sesuai dengan hukum kedua termodinamika.

Pancaran energi total radiasi persatuan waktu dan persatuan luas dari sebuah benda hitam berkaitan dengan pangkat empat suhu mutlak yang sesuai dengan hukum Stefan-Blotzman.

$$E_b(T)=\frac{q_r}{A}=\sigma T^4 \qquad \text{..... (2.26)}$$

dimana $E_b(T)$, q_r , A, σ , dan T secara berturut-turut menyatakan daya pancar radiasi benda hitam pada suhu T (W/m^2), laju perpindahan kalor dengan cara radiasi (W), luas benda hitam (m^2), konstanta Stefan-Blotzman ($5,67x10^{-8} W/m^2K^4$), dan suhu mutlak (^0K).

Pemahaman terhadap persamaan (2.26) menunjukkan bahwa permukaan benda hitam manapun di atas suhu nol mutlak meradiasikan energi dengan laju pancaran yang sebanding dengan suhu mutlak pangkat empat. Walaupun laju pancaran tidak tergantung pada kondisi sekitar, perpindahan bersih radiasi memerlukan adanya perbedaan suhu permukaan antara dua benda tempat pertukaran kalor berlangsung. Jika benda hitam tersebut beradiasi ke sebuah

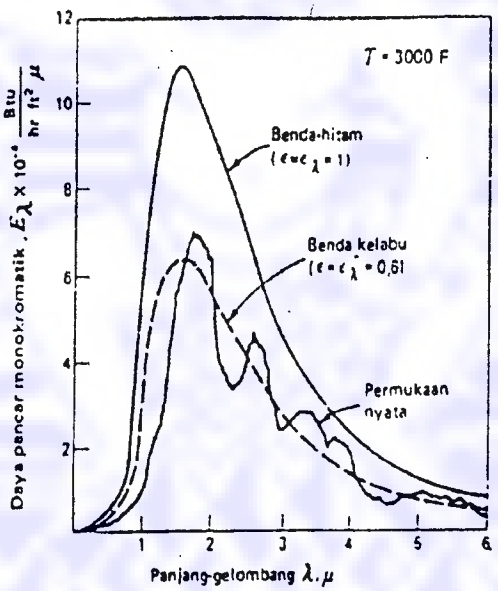
penutup yang sepenuhnya mengurungnya dan permukaannya juga hitam yaitu menyerap semua energi radiasi yang datang padanya, maka laju bersih perpindahan kalor radiasi diberikan oleh :

$$q_r = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \qquad \text{.....(2.27)}$$

dimana T_2 adalah suhu permukaan penutup dalam derajat Kelvin mutlak.

2.5.2.3. Radiasi dari Permukaan Nyata

Dalam beberapa segi radiasi dari permukaan nyata berbeda dengan radiasi benda hitam. Menurut hukum Kirchoff, suatu permukaan nyata selalu beradiasi lebih kecil daripada benda hitam yang suhunya sama.



Gambar 2.8. Perbandingan antara daya pancar permukaan nyata benda hitam dan benda kelabu.

Benda-benda yang nyata tidak memenuhi spesifikasi radiator ideal tetapi memancarkan radiasi dengan laju lebih rendah dari pada benda hitam . Jika pada suhu yang sama dengan benda hitam, benda nyata memancarkan sebagian yang

konstan dari pancaran benda hitam pada setiap panjang gelombang, maka benda itu disebut benda kelabu. Laju perpindahan kalor dari benda kelabu dengan suhu T_1 ke benda suhu T_2 yang mengelilinginya adalah :

$$q_r = e_{me}\sigma A\,(T_1^4 - T_2^4) \qquad \text{.....(2.28)}$$

dimana e_{me} adalah emisivitas permukaan kelabu dan sama dengan perbandingan pancaran dari permukaan kelabu terhadap pancaran dari radiator sempurna pada suhu yang sama.

2.5.2.4. Faktor Bentuk Radiasi

Intensitas radiasi yang melintas antar permukaan tidak banyak terpengaruh oleh adanya medium perantara, kecuali jika suhunya sangat tinggi hingga terjadi ionisasi. Analisa perpindahan kalor pada permukaan bahan dapat diperlakukan sebagai pemancar dan pemantul radiasi yang baur. Bagian dari radiasi dengan distribusi baur yang meninggalkan suatu permukaan A_i serta mencapai permukaan A_j dinamakan faktor bentuk radiasi.

Jika kedua benda tersebut bukan radiator sempurna dan kedua benda mempunyai hubungan geometrik tertentu satu sama lain, maka perpindahan kalor bersih diantara kedua benda tersebut diberikan oleh :

$$q_r = F_{1\text{-}2}e_{me}\sigma A(T_1^4 - T_2^4) \qquad \text{.....(2.29)}$$

dimana $F_{1\text{-}2}$ adalah modulus yang merubah persamaan bagi radiator sempurna untuk memperhitungkan emisivitas dan faktor geometri relatif benda nyata tersebut.

2.5.3. Uji Mekanik

Beberapa pengujian mekanik yang banyak dilakukan adalah pengujian tarik (*tensile test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), Pengujian tekan (*compression test*), pengujian pukul takik (*impact test*) dan lain-lain.

Pengujian tarik mempunyai kesamaan dengan pengujian tekan dalam hal data yang diperolah (tegangan-regangan). Pada saat batang uji menerima beban sebesar F maka batang uji (yaitu panjang uji) akan bertambah panjang sebesar Δl mm. Pada saat itu pada batang uji bekerja tegangan yang besarnya :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{kN/mm}^2) \qquad \text{.....(2.30)}$$

dimana A adalah luas penampang batang uji mula-mula.

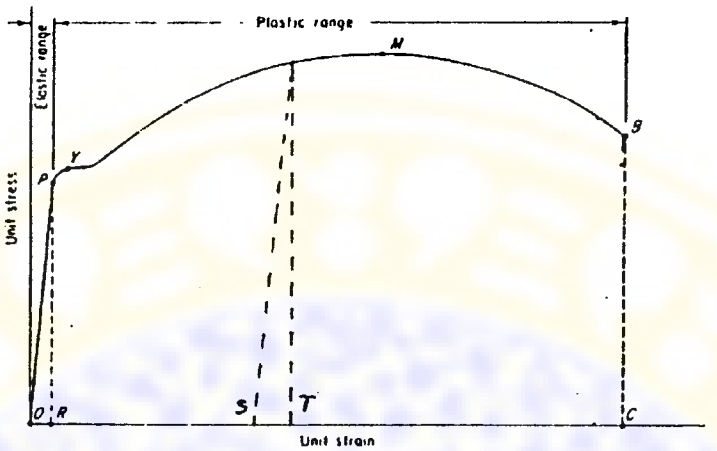
Juga pada saat itu pada batang uji terjadi regangan yang besarnya :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{(l - l_0)}{l_0} \quad (\%) \qquad \text{.....(2.31)}$$

dimana l_0 dan l adalah panjang "panjang uji" mula-mula dan panjang "panjang uji" saat menerima beban

Sehingga modulus elastisitas dapat diperoleh sebagai

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{kN/mm}^2) \qquad \text{.....(2.32)}$$



Gambar 2.9. Diagram Tegangan-Regangan

Dari grafik 2.9 tampak bahwa pada tegangan yang kecil akan membentuk garis lurus, ini berarti besarnya regangan yang timbul sebagai akibat tegangan yang kecil sebanding dengan besarnya tegangan, yang dinamakan dengan daerah elastis. Tambahan gaya eksternal pada bahan maka terjadi penambahan peregangan yang sebanding penambahan tegangannya. Hal ini berlaku hingga titik P. Setelah itu pertambahan panjang (regangan) tidak lagi lurus, akan tetapi pertambahan beban yang sama akan menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar, pertambahan regangan yang lebih besar terjadi akibat bahan sudah mencapai daerah plastisnya, sehingga jika kita memberikan penambahan beban maka regangan yang terjadi semakin besar dengan penambahan beban yang sama. Jika pembebanan ini diteruskan maka bahan akan mencapai titik maksimum dalam penerimaan beban yang disebut ultimate *yield strength* (batas kekuatan tekan), sehingga bahan akan mengalami patah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1.Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga dan Laboratorium Teknik Geodesi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya selama enam bulan.

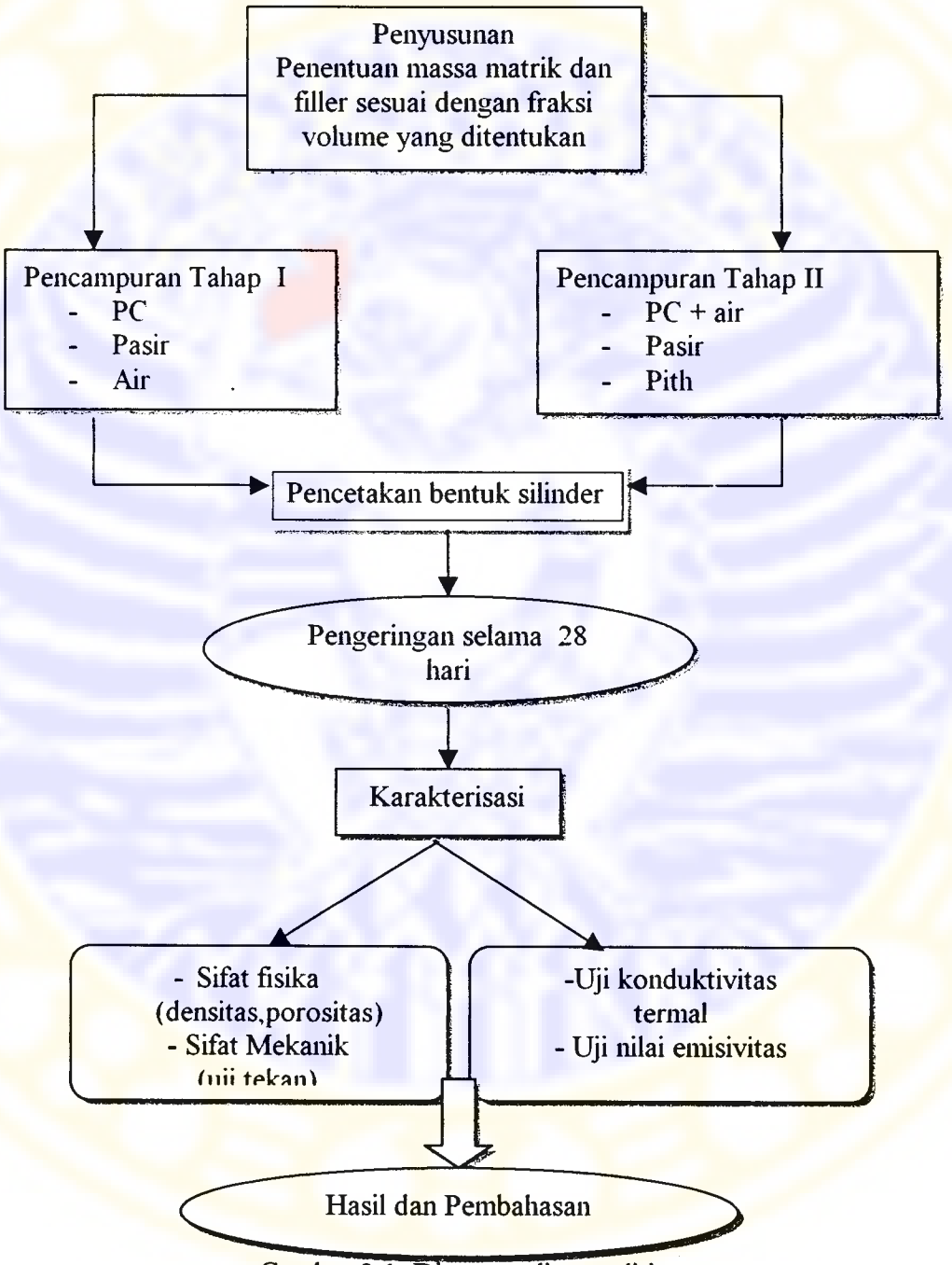
3.2.Bahan dan Alat penelitian

- Cement Portland jenis I dari industri semen Gresik
- Agregate halus (pasir)
- Ampas tebu atau pith (limbah industri kertas)
- Air
- Neraca
- Peralatan pengadukan (bak dan cetok)
- Cetakan
- Peralatan uji tekan ASTM C 469
- Peralatan Autograph
- Peralatan konduktivitas termal OSK 4565 A
- Peralatan radiasi Heat transfer, Ogawa seiki Co.Ltd OSK 4569

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengacu pada diagram alir penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1

Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan Baku

Dalam pembuatan bahan komposit ini terdiri dari dua tahap, untuk tahap pertama terlebih dahulu menentukan besarnya massa yang akan digunakan berdasarkan fraksi volume filler maupun matrik. Untuk tahap pertama dalam penelitian ini yang berlaku sebagai filler adalah pasir (aggregat halus) sedangkan matriknya semen portland I-air (pasta). Sebagaimana disajikan pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Nilai fraksi volume dan massa filler-matrik pada mortar

Fraksi volume filler (%)	Fraksi volume matrik (%)	Massa matrik (gram)	Massa filler (gram)
10	90	3750,102	433,95
15	85	3536,425	650,99
20	80	3333,424	867,896
25	75	3125,085	1084,87

Sedangkan tahap kedua merupakan penggabungan tiga bahan dengan berbagai variasi fraksi volume matrik dan filler, untuk tahap kedua ini pasir dengan komposisi fraksi volum sama dengan pada tahap I, dan semen merupakan matrik dan pith adalah filler dalam percobaan ini menggunakan variasi fraksi volume sebesar 10%, 20%, dan 30%, dengan mengetahui densitas bahan maka diperoleh masa bahan penyusun yang akan dibuat menjadi bahan komposit, sebagaimana yang terdapat pada tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2 Variasi fraksi volume campuran pasir-semen-pith

Pasir: PC (%) / Vf / Pith (%)	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Sampel IV
0,1	0,10 : 0,80	0,15 : 0,75	0,20 : 0, 70	0,25 : 0,65
0,2	0,10 : 0,70	0,15 : 0,65	0,20 : 0,60	0,25 : 0,55
0,3	0,10 : 0,60	0,15 : 0,55	0,20 : 0,50	0,25 : 0,45

Tabel 3.3. Perhitungan masa komposit (pasir-semen-pith)

Pasir: PC / Pith (gr)	Sampel I (g)	Sampel II (g)	Sampel III (g)	Sampel IV (g)
10 (27,95)	433,9 : 3328.4	650,9 : 3120,4	867,9 : 2912,4	1084,9 : 2704,3
20 (55.89)	433,9 :2912,4	650,9 :2704,3	867,9:2496,3	1084,9 :2288,2
30 (83,88)	433,9 :2496,3	650,9:2288,28	867,9:2080,3	1084,9:1872,2

Untuk membuat bahan sesuai dengan benda uji, maka harus dilakukan perhitungan besar massa bahan yang diperlukan. Dengan mengetahui data-data daripada ρ pasir : 2,764 g/cm^3, ρ semen : 2,65 g/cm^3 , dan ρ serat : 0,178 g/cm^3 . Dalam pengujian ini menggunakan bentuk silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, sehingga dalam perhitungannya volume komposit yang digunakan adalah volume silinder sebesar 1570 cm^3. Penentuan massa atau berat bahan yang

akan digunakan dilakukan setelah menentukan kerapatan, fraksi volume filler dan matrik, serta volume komposit keseluruhan, seperti pada langkah berikut :

- Perhitungan Fraksi Volume filler (Vf) 10 %

$$\frac{v_f}{v_c} = 0{,}1$$

$$v_f = 0{,}1.v_c$$

$$\frac{m_f}{\rho_f} = 0{,}1.v_c$$

$$m_f = 0{,}1.v_c.\rho_f$$

Untuk filler, ρ_f= 2,76 g/cm^3, maka

m_f = 0,1 . (1570 cm^3).(2,76 g/cm^3)

= 433,32 g

- Perhitungan Fraksi volume matrik (V_m) 90 %

$$\frac{v_m}{v_c} = 0{,}9$$

$$v_m = 0{,}9.v_c$$

$$\frac{m_m}{\rho_m} = 0{,}9.v_c$$

$$m_m = 0{,}9.v_c.\rho_m$$

untuk matrik, ρ_m = 2,65 g/cm^3, maka

m_m = 0,9.(1570 cm^3).(2,65 g/cm^3) = 3744,45 g

3. 3. 2 Pembuatan sampel

Pada eksperimen ini pencampuran dilakukan dengan cara, PC dan pasir (mortar) untuk tahap pertama, dan berikutnya campuran PC-pasir (mortar) digabungkan dengan *pith* untuk tahap kedua, diaduk sampai keadaannya dianggap homogen, baru ditambahkan air secukupnya sebagai media pelarut, sehingga terbentuk campuran semen air (CSH) dan agregate pasir, untuk penambahan air dalam eksperimen ini untuk mortar sekitar 1 litter atau 1000 g, dan setelah ditambahkan serat hanya sekitar 600 g. Kemudian dilakukan pengadukan kurang lebih selama 10 menit. Setelah campuran bahan dianggap benar-benar homogen, bahan tersebut dimasukkan dalam cetakan pipa PVC.

Pengeringan bahan cukup pada kondisi ruang, tanpa pemanasan di bawah sinar matahari untuk menghindari proses hidrasi secara mendadak yang menyebabkan benda mudah retak, pengeringan dilakukan selama 28 hari.

3.4 Karakterisasi Sampel

Setelah sampel terbentuk, selanjutnya melakukan pengujian atau karakterisasi untuk mengetahui kondisi bahan terhadap beberapa variabel akibat adanya penambahan fraksi volume.

3.4.1 Pengukuran Densitas

Setelah mengalami masa pengeringan, sampel yang terbentuk dilakukan pengukuran densitas atau kerapatan terhadap benda uji, dengan menentukan massanya, sedangkan volumenya adalah volume keseluruhan silinder tersebut. Prosedur pengukuran densitas menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

3.4.2 Pengukuran Porositas (Fraksi Volume Void)

Untuk pengukuran fraksi volume void (porositas) perhitungannya menggunakan persamaan 2.15, yang diperoleh dari perumusan sebagai berikut:

$$V_V = \frac{v_v}{v_c} = \left[\frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t}\right] \qquad \text{.....(3.1)}$$

denganV_v, ρ_c, dan ρ_t secara berturut-turut adalah fraksi volume porositas, kerapatan bahan setelah kering, dan kerapatan bahan teoritis

Kerapatan teoritis diperoleh dari perbandingan antara massa matrik dan massa filler yang digunakan dengan volume komposit teoritis seperti pada perumusan berikut :

$$\rho_t = \frac{m_m + m_f}{V_t} \qquad \text{.....(3.2)}$$

$$V_t = \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_f}{\rho_f} \qquad \text{.....(3.3)}$$

dengan m_m, m_f, dan V_t adalah massa matrik, massa filler, dan volume teoritis.

3.4.3 Pengujian Tekan

Untuk uji tekan menggunakan ASTM C 469 sebagaimana yang terdapat pada gambar (lampiran), sampel berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, permukaannya dibuat rata agar kontak antar permukaan sampel dan alat uji terjadi secara sempurna. Dari pengujian tersebut diperoleh besar tekanan P (Kgf) dan *elongation* Δl (mm).

3.4.4. Pengukuran Modulus Elastisitas

Sampel uji yang berbentuk silinder digunakan untuk pengujian tekan sehingga diperoleh grafik hubungan tegangan σ terhadap regangan ε, daerah liniernya merupakan nilai modulus elastisitas, sehingga dengan menggunakan persaman 2.30 dan 2.31 dapat diperoleh nilai modulus elastisitasnya (persamaan 2.32), serta menentukan pengaruh penambahan fraksi volume filler terhadap modulus elastisitas.

3.4.5. Pengukuran Konduktivitas Termal

Dalam pengukuran konduktivitas termal logam diperlukan dua buah sampel komposit mortar *pith* yang sejenis. Sampel berbentuk lingkaran dengan jari-jari 2 cm dan mempunyai ketebalan 1 cm untuk sampel bagian atas, 3 cm untuk sampel bagian bawah dan kondisi permukaan sampel harus rata. Untuk pengukuran konduktivitas termal sampel dengan menggunakan alat eksperimen OSK 4565 A diperlukan langkah-langkah sebagai berikut : memasang sampel yang tipis pada sebelah atas, sedangkan sampel uji yang tebal pada bagian bawah secara vertikal memutar maka tiga buah penekan sampai maksimal pada permukaan kontak sampel standar dan sampel uji, memasang isolator glaswool disekeliling sambungan sampel dan posisi ujung Thermocouple, membuka semua kran air dan mengalirkan air dari bak penampungan ke flow meter, mengatur Thermocontrol sehingga suhu tidak lebih dari 200^0 C, mencatat suhu awal yang kita inginkan, mencatat suhu air pendingin yang masuk dan yang keluar, mengukur suhu pada tiap-tiap Thermocouple dengan mengatur Thermoselektor, dan mencatat perubahan suhu untuk tiap-tiap Thermocouple.

Pengukuran konduktivitas termal sampel dengan OSK 4564 A menggunakan dua buah sampel sejenis yang tebalnya berbeda. Sehingga harus dilakukan pengukuran konduktivitas termal untuk tiap-tiap sampel. Nilai konduktivitas termal dari data yang diperoleh dari eksperimen untuk sampel A adalah :

$$k_a = \frac{\Delta t_T x_a}{\Delta t_a x_T} k_T \qquad \text{.....(3.4)}$$

dan untuk sampel B adalah :

$$k_b = \frac{\Delta t_T x_b}{\Delta t_b x_T} k_T \qquad \text{.....(3.5)}$$

Sehingga untuk menghitung nilai konduktivitas termal setelah eliminasi tahanan kontak termal adalah :

$$k = \frac{x_b - x_a}{\frac{x_b}{k_b} - \frac{x_a}{k_a}} \qquad \text{.....(3.6)}$$

dimana k_a, k_b, k_T, Δt_a, Δt_b, x_a, dan x_b berturut-turut adalah konduktivitas termal sampel A, konduktivitas termal sampel B, konduktivitas standart alat (320 k cal/mh^{0}C), perbedaan suhu pada sampel A, perbedaan suhu pada sampel B, tebal sampel A, dan tebal sampel B.

3.4.6. Pengukuran Nilai Emisivitas

Dalam pengukuran emisivitas total efektif permukaan sampel diperlukan sampel berbentuk lingkaran dengan jari-jari 8 cm. Agar permukaan sampel mempunyai kekasaran yang relatif sama, maka sebelum diukur harus dihaluskan terlebih dahulu dengan menggunakan kertas gosok. Untuk pengukuran

emisivitas total efektif permukaan sampel dengan menggunakan alat eksperimen "Radiasi Heat Transfer" Ogawa Seiki. Co.LTD OSK 469 diperlukan langkah-langkah sebagai berikut : menyusun Radiometer Conical Shield" dan lempengan sampel terletak pada satu garis lurus, memanaskan lempengan sampel dengan "Electric Heater Unit" dan mengatur suhunya dengan "Temperatur Regulator" yaitu dengan memutar kekanan untuk menaikkan suhunya dan kekiri untuk menurunkan suhunya, mengukur suhu lempengan sampel dengan mengarahkan saklar "Thermo Taps Selector" pada t_1 dan mengarahkan saklar pada "Radiometer Thermocouple Selector" pada termometer, serta mencatat beda potensial pada digital milivoltmeter, mengukur suhu radiometer dengan mengarahkan saklar "Thermo Taps Selector" pada t_2 dan mencatat beda potensialnya pada digital millivoltmeter, mengukur banyaknya intensitas radiasi dengan mengarahkan saklar "Radiometer Thermocouple Selector" pada radiometer dan mencatat beda potensialnya pada digital millivoltmeter, mengukur jarak antara radiometer dan lingkungan yang lebih kecil pada *Conical Shield.*

Di dalam eksperimen, nilai e_{me} sebagian tergantung pada sudut berkas yang masuk juga bergantung pada faktor geometri peralatan. Pada peralatan ini emisivitas total efektifnya dapat diperoleh dari rumusan *intruction manual* OSK 4569.

$$e_{me} = \frac{CXE_{mv}(R)}{4{,}88xF_{RO}\left[\left(\frac{To}{100}\right)^4 - \left(\frac{Tr}{100}\right)^4\right]} \qquad \text{.....(3.6)}$$

dimana C adalah konstanta sensitivitas kalibrasi radiometer (86,83 k Cal/m^{2}h/mv). E_{mv} (R) adalah gaya elektromagnetik oleh radiometer, To

dan Tr secara berturut-turut adalah temperatur absolut permukaan sampel dan temperatur absolut *Thermocouple* (dalam Kelvin).

$T_0 = t_0 + 273$

$T_r = t_r + 273$

t_0 dan t_r temperatur yang terukur dari permukaan sampel ($E_{mv}(t_1)$) dan Thermocouple ($E_{mv}(t_2)$), (diperoleh dengan konversi tabel).

Faktor bentuk F_{ro} diperoleh dari rumusan

$$F_{ro} = \frac{r^2}{r^2 + L^2} \qquad \text{.....(3.7)}$$

dimana r adalah jejari sampel dan L adalah jarak permukaan sampel.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material komposit dipengaruhi oleh variabel bahan penyusunnya, misalnya nilai modulus elastisitas dan kerapatan masing-masing bahan yang akan digabungkan menjadi bahan komposit, seperti yang terdapat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Nilai modulus bahan percobaan

Sampel	Modulus elastisitas (kN/mm^2)	Densitas (g/cm^3)
Portland cement	2,7	2,65
Pasir	23,4	2,76
Pith	0,212	0,178

Perhitungan secara teoritis pada mortar dengan menghitung nilai modulus elastisitas masing-masing bahan yaitu pasta-pasir dengan variasi fraksi volume, yang kemudian dibuat grafik *upper lower bound* seperti pada gambar 2.4 , dan nilai modulus elastisitas secara teori mengacu persamaan 2.1 dan 2.2, sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas teoritik seperti tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai modulus elastisitas teoritis mortar

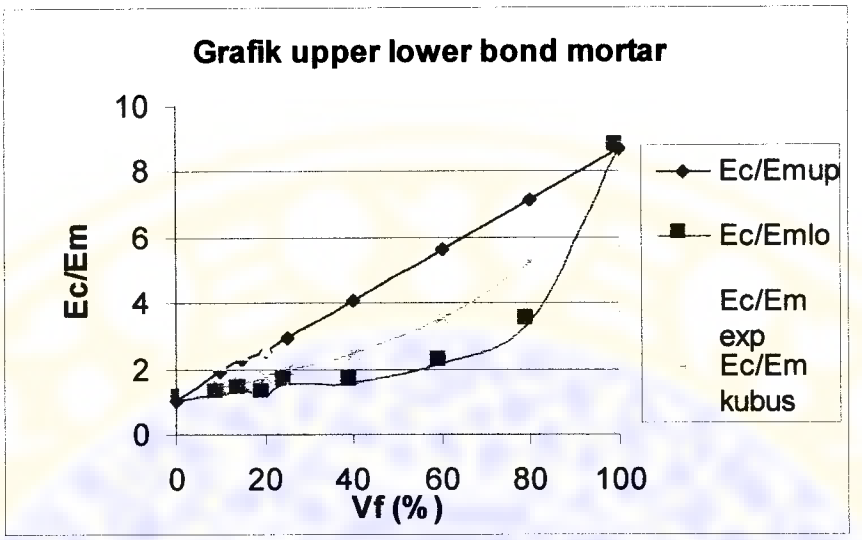
No	Vf (%)	Vm (%)	Upper Bound (E_c/E_m)	Lower Bound (E_c/E_m)	Model Kubus (E_c/E_m)
1	0	100	1	1	
2	20	80	2,54	1,21	1,75
3	40	60	4,07	1,55	2,48
4	60	80	5,60	2,13	3,50
5	80	20	7,15	3,42	5,18
6	100	0	8,68	8,68	

Nilai kompaktibilitas dari bahan komposit yang berbasis pada penguatan unidireksional, atau komposit yang memiliki orientasi penguat kontinu dapat dinyatakan secara kuantitatif berdasarkan nilai penguatan longitudinal dan transversal. Jenis penguatan tersebut dalam pengetahuan material komposit secara umum dinyatakan sebagai *upper lower bound.* Kedua nilai tersebut dianggap sebagai batas kekuatan paling tinggi dan paling rendah ikatan antar matrik dan penguatnya. Secara analisis dari data-data nilai modulus elastisitas bahan komposit yang dibuat *upper* dan *lower bound* dinyatakan seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai modulus elastisitas eksperimen mortar

No	Vf (%)	Vm (%)	E (kN/mm^2)	Ec/Em
1	10	90	5,812	2,152
2	15	85	6,657	2,466
3	20	80	6,978	2,585
4	25	75	3,75	1,388

Pengamatan kualitas ikatan antara matrik dan filler akan lebih mudah dinyatakan secara kualitatif dengan cara merubah data-data tabel menjadi grafik seperti pada gambar 4.1 dibawah ini.



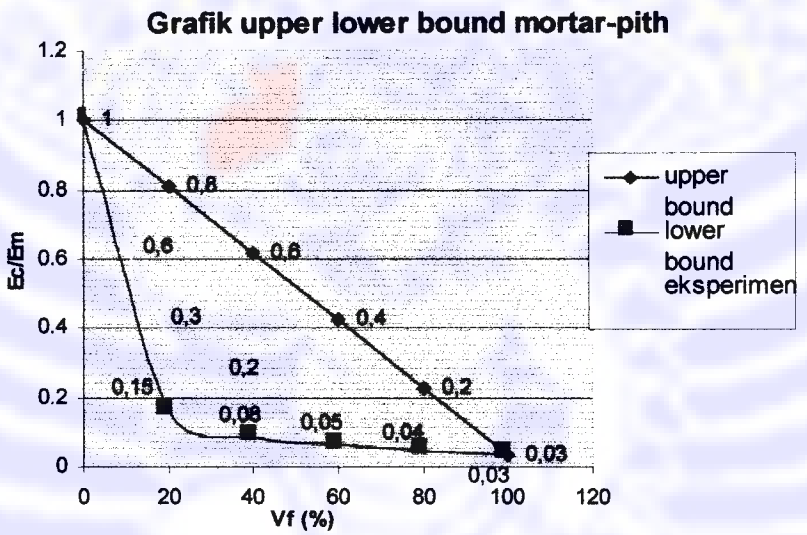
Gambar 4.1.a. Grafik *upper lower* bound mortar

Melalui pendekatan teoritis dengan menggunakan persamaan Halpin Tsai, yaitu peninjauan terhadap geometri filler, yaitu pasir memiliki geometri dengan nilai anisometri mendekati satu, maka model pendekatan yang digunakan adalah model kubus mengacu persamaan 2.4, dan secara teoritis menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume filler yang ditambahkan maka nilai modulus elastisitasnya meningkat, tetapi secara eksperimen pada saat fraksi volume maksimum nilai modulus elastisitasnya turun.

Tahap kedua pada penelitian ini adalah membuat bahan komposit dengan campuran semen pasir sebagai matrik, dan *pith* sebagai fillernya, dan melalui perhitungan teoritis diperoleh data-data seperti pada tabel 4.4 dan secara kuantitatif dinyatakan pada gambar 4.1.b.

Tabel 4.4 Nilai modulus elastisitas eksperimen mortar dan *pith*

Vf (%) Eksperimen	Vf (%) Teoritis	Ec/Em upper Bound	Ec/Em lower Bound	Ec/Em eksperimen
	0	1	1	
10	20	0,8073	0,159	0,634
20	40	0,6146	0,087	0,38059
30	60	0,4219	0,0595	0,28159
	80	0,2292	0,0452	
	100	0,03655	0,0365	



Gambar 4.1.b Grafik *upper lower bound* mortar-*pith*

Peningkatan fraksi volume filler seperti pada gambar 4.1.b akan menurunkan nilai modulus elastisitas, yang disebabkan nilai modulus elastisitas filler lebih kecil daripada nilai modulus elastisitas pada matrik, hal tersebut tidak merubah kualitas ikatan antar permukaan karena masih masuk dalam daerah kompaktibilitas ikatan antar permukaan yang diijinkan.

Penggunaan *pith* pada penelitian ini, model pendekatan secara teoritis yang digunakan adalah model tabung yang sifatnya random, hal tersebut didasarkan oleh geometri filler yang berbentuk serat pendek kontinu dengan

panjang serat 4 mm dan diameter 0,1 mm, nilai eksperimen dan teoritis disajikan dalam tabel 4.4.

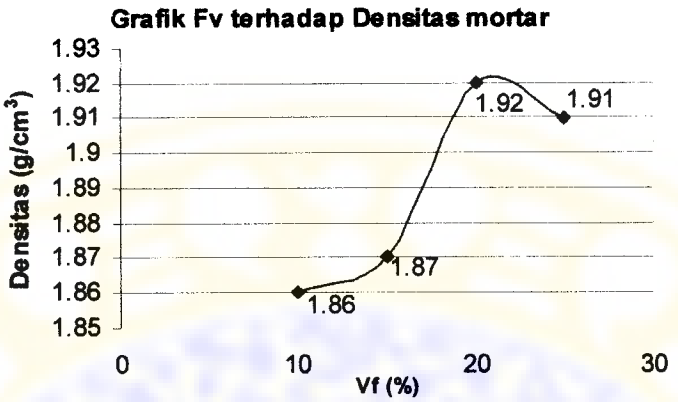
Tabel 4.5 Nilai modulus elastisitas teoritis dan eksperimen

Vf (%)	ER (kN/mm^2)	E eksp (kN/mm^2)
10	4,729	3,675
20	1,179	2,207
30	1,031	1,633

Berdasarkan pengamatan analisa dan kajian mekanik khususnya modulus elastisitas diperoleh nilai modulus elastisitas untuk komposit mortar dan *pith* mempunyai kualitas ikatan antar permukaan yang baik, realita tersebut ditunjukkan dari nilai *upper* dan *lower bound* serta didukung oleh nilai modulus elastisitas eksperimen mendekati nilai modulus elastisitas teoritik seperti pada tabel 4.5.

4.1. Pengaruh Variasi Fraksi Volume Filler terhadap Nilai Densitas

Densitas secara teoritik menunjukkan nilai perbandingan antara massa benda dan volume benda tersebut, dan secara fisika menunjukkan kerapatan pada partikel-partikel pembentuk material tersebut. Kehomogenan campuran dari penguat terhadap material akan meningkatkan luas kontak antar permukaan terhadap matrik dan menyebabkan kerapatannya juga meningkat, hal tersebut dapat ditunjukkan dari gambar 4.2.

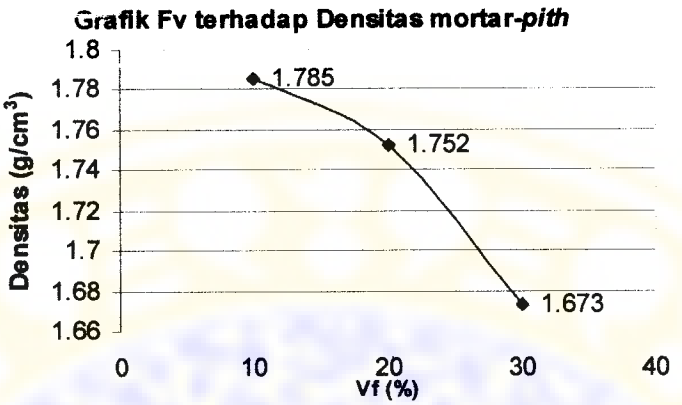


Gambar 4.2 Grafik nilai Vf terhadap densitas mortar

Dari grafik tersebut tampak bahwa semakin besar fraksi volume filler maka kerapatannya semakin meningkat, namun terjadi penurunan pada saat fraksi volume filler 25 %. Hal ini disebabkan karena pasir masih mengandung lumpur, sehingga ikatan antar partikelnya yang terbentuk kurang sempurna, gaya adhesi kohesinya terhalang akibat adanya pengotor, karena keberadaan agregat sangat mempengaruhi kemampuan dari bahan komposit secara keseluruhan, sehingga perlu diperhatikan mengenai variabel bahan dan prosesnya.

Sedangkan densitas atau kerapatan yang cukup tinggi terjadi karena agregat mengalami interstisi atau pengisian partikel pada porous sepanjang ikatan partikel semen sehingga untuk terjadinya gaya adhesi dan kohesinya lebih memungkinkan, rapat jenis mempengaruhi pembentukan bahan komposit, semakin besar densitas maka kemungkinan terjadinya ikatan interpartikel semakin besar.

Selanjutnya dilakukan perhitungan gabungan pasta-pasir dengan penambahan *pith*, sebagaimana terdapat pada gambar 4.3.

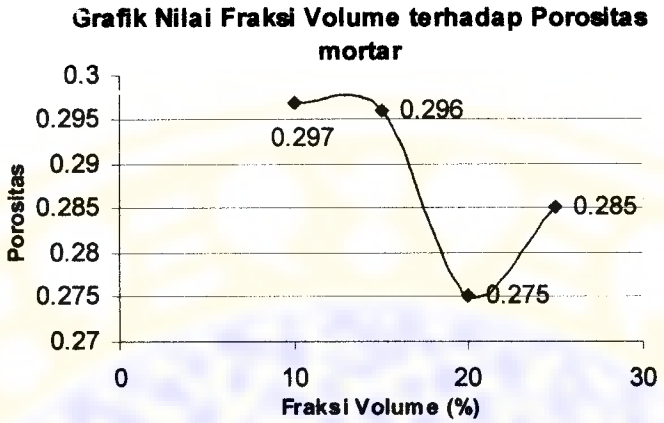


Gambar 4.3. Grafik nilai Vf terhadap densitas mortar-pith

Dari grafik 4.3 tersebut tampak bahwa dengan bertambahnya serat organik (pith) maka nilai kerapatannya menurun, hal ini dimungkinkan oleh karakteristik bahan pendukungnya yang memiliki nilai densitas bernilai 0,178 g/cm^3, lebih ringan dibandingkan matriksnya (mortar), sehingga mempengaruhi densitas bahan komposit yang terbentuk karena ukuran partikel yang kecil akan lebih mudah tersebar merata dalam matrik, sehingga mempengaruhi transmisi tegangannya. Untuk penguatan yang efektif ukuran partikel seharusnya kecil dan cukup terdistribusi ke dalam matrik.

4.2. Pengaruh Variasi Fraksi Volume Filler terhadap Porositas

Penentuan porositas atau volume void berdasarkan persamaan 2.15 Jika fraksi volume besar, filler lebih mudah terdistribusi secara merata pada matrik, yang mampu meningkatkan nilai kekuatannya, sehingga perlu ditinjau pengaruh fraksi volume terhadap porositas bahan komposit, seperti pada gambar 4.4.



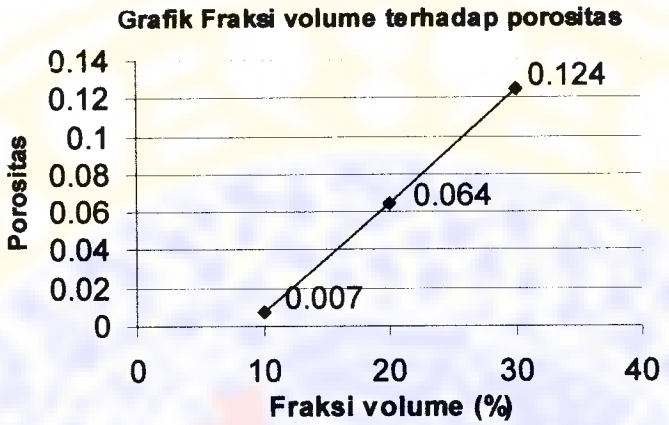
Gambar 4.4. Grafik Nilai Vf terhadap porositas mortar

Peningkatan fraksi volume filler pasir di dalam matrik mortar pada fraksi volume filler 20 % pertama akan menimbulkan kerapatan yang lebih tinggi atau porositasnya menurun, tetapi saat fraksi volume 25 % terjadi fenomena yang cukup menarik adanya peningkatan porositas, Peningkatan porositas disebabkan oleh adanya proses hidrasi semen-air dan pasir yang menimbulkan rongga udara pada daerah matrik dan terjebak pada saat proses perawatan sehingga meningkatkan porositas atau rongga-rongga udara matrik.

Dengan adanya porositas pada bahan komposit mortar akan lebih getas (*brittle*), hal yang demikian itu disebabkan tidak terjadinya transmisi tegangan dari matrik karena adanya penghalang atau porositas maka tegangannya terkonsentrasi pada salah satu atau beberapa porositas, dan merupakan daerah *cracking* (keretakan), semakin besar porositas material mortar menjadi lebih getas.

Pada komposit mortar juga menunjukkan gejala yang sama, dengan penambahan *pith*, maka porositasnya meningkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Penambahan fraksi volume *pith* secara mekanik ditunjukkan pada

pengujian mekanik yang cenderung memiliki nilai modulus elastisitas bertambah rendah.

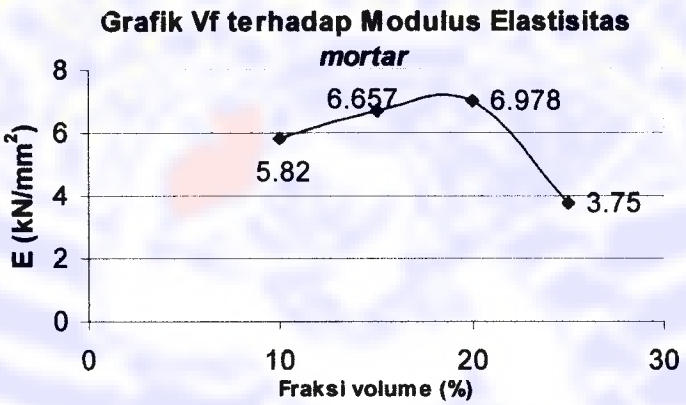


Gambar 4.5. Grafik Nilai Vf terhadap porositas mortar-*pith*

Bahan komposit yang dibuat dari material dengan matrik semen-pasir modulus elastisitas sekitar 5,8 kN/mm^2 dan modulus elastisitas filler sebesar 0,21 kN/mm^2 cenderung menurunkan nilai modulus elastisitas komposit akibat penambahan fraksi volume filler. Dalam penelitian ini pendekatan mekanik yang digunakan bukan sebagai faktor utama dari penelitian, tetapi nilai modulus elastisitas yang diperoleh dimanfaatkan untuk mengetahui secara kuantitatif kompaktibilitas antara matrik dan filler. Aspek penting yang menjadi perhatian oleh peneliti pada penelitian ini adalah faktor alternatif memanfaatkan limbah organik untuk menggantikan fungsi daripada asbes, aspek fisik yang dapat ditinjau dalam penelitian ini menekankan sifat panas dari bahan komposit antara mortar dan *pith*.

4.3.Pengaruh Nilai Fraksi Volume Filler terhadap Modulus Elastisitas Mortar dan Mortar-*Pith*

Dari data pengujian tekan akan diperoleh grafik nilai tegangan dan regangan seperti pada lampiran 3 yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai modulus elastisitas, dapat dinyatakan pada gambar 4.6.

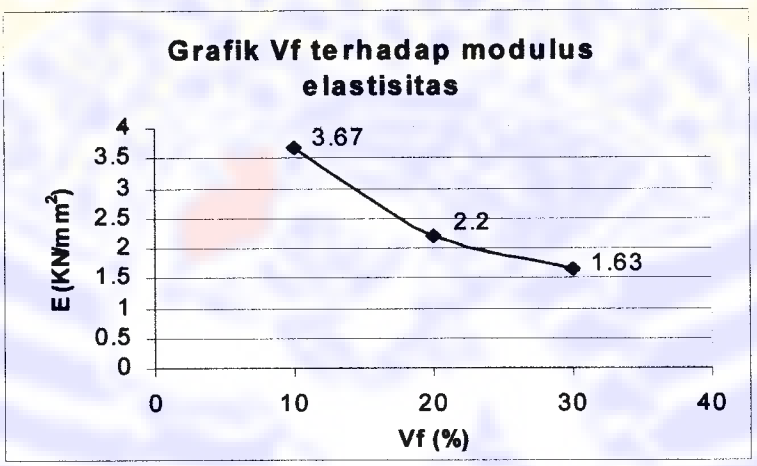


Gambar 4.6. Grafik Nilai Vf terhadap E pada mortar

Dari grafik hubungan nilai variasi fraksi volume terhadap modulus elastisitas terjadi peningkatan kekuatan, ditunjukkan dari semakin besarnya nilai modulus elastisitas dengan bertambahnya fraksi volume filler 10 %, 15 %, dan 20%, tetapi pada saat fraksi volume filler 25 % nilai modulus elastisitasnya mengalami penurunan, hal ini terjadi karena proses preparasi yang kurang tepat, pasir yang digunakan mengandung lumpur, sehingga mempengaruhi kualitas ikatannya.

Keadaan idealnya semakin besar fraksi volume filler maka kekuatannya meningkat, hal tersebut terjadi akibat adanya distribusi atau pembagian tegangan yang ditransmisikan pada filler (penguat) ke seluruh matrik, sehingga

mempengaruhi kualitas ikatan antar permukaan bahan komposit yang terbentuk, disamping itu tidak terlepas dari karakteristik bahan penyusun, yaitu nilai modulus elastisitasnya. Sifat mekanik material berpengaruh terhadap ikatan antar permukaan antara penguat dan matrik, yang sebagian besar disebabkan oleh jenis, pengisi, geometri, dan penyusunannya dari filler (Branelt, 1995, Razi *et al*, 1999).



Gambar 4.7. Grafik Nilai Vf terhadap E pada mortar-*pith*

Dari grafik perbandingan fraksi volume filler terhadap nilai modulus elastisitas tampak bahwa dengan bertambahnya fraksi volume serat maka terjadi penurunan nilai modulus elastisitasnya, sebagaimana telah disebutkan bahwa karakteristik bahan penyusunnya, yaitu matrik ataupun *filler*nya cukup berperan dalam menentukan kualitas bahan komposit yang terbentuk, dari penelitian tentang komposit semen kayu menyatakan bahwa sifat komposit semen kayu secara khusus dipengaruhi oleh pengisi, bentuk, penyusunan dan karakteristik penguat kayu (Kayahara, *et al*, 1979, Stahl *et al*, 1997, Badejo, 1988). Mekanisme pembentukan ketiga bahan yang dalam eksperimen ini dapat dijelaskan sebagai berikut, berdasarkan konsep proses hidrasi, dengan adanya penambahan serat

yang merupakan material higroskopis, maka proses terhidratnya pasta pasir kurang sempurna, karena proses hidrasi yang terjadi reaksinya sesaat, hanya ketika ditambahkan air pada semen, sedangkan serat masih mengandung air, sehingga belum membentuk ikatan antara serat organik, pasir, dan partikel semen, akibatnya benda lebih *brittle* atau mudah terdeformasi. Keadaan yang demikian sudah diprediksi sebagaimana yang terdapat pada tabel 4.4. Nilai modulus elastisitas filler yang lebih rendah dari matriksnya ternyata menurunkan modulus elastisitas komposit yang dihasilkan.

4.4.Pengaruh Nilai Fraksi Volume filler terhadap Konduktivitas Termal Mortar-Pith

Beban kalor dari luar bangunan sangat tergantung pada ukuran dan sifat termal dari bahan bangunan seperti, konduktivitas dan sifat permukaan terhadap radiasi, karena penambahan kalor bangunan sangat berpengaruh terhadap kenaikan suhu ruangan dan menurunkan kualitas kenyamanan bangunan. Konduktivitas adalah hantaran atau aliran kalor dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah melalui suatu medium, baik padat, cair, maupun gas.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dengan meningkatnya konsentrasi pasir di dalam material, maka material matrik (komposit) akan meningkat pula nilai konduktivitas termalnya. Hasil pengukuran menggunakan alat uji konduktivitas termal dan dengan menggunakan persamaan 3.3 sampai 3.5 akan diperoleh nilai konduktivitas termal sampel, sebagaimana terdapat pada tabel 4.6.a sampai 4.6.c berikut.

Tabel 4.6.a. Nilai konduktivitas termal

Vf (%)	No	k (kkal/mh ^{0}C)	k rerata (kkal/mh ^{0}C)
Pasir:semen:serat 15:75:10	1	0,204	0,19±0,015
	2	0,167	
	3	0,182	
	4	0,207	

Tabel 4.6.b. Nilai konduktivitas termal

Vf (%)	No	k (kkal/mh ^{0}C)	k rerata (kkal/mh ^{0}C)
Pasir:semen:serat 20:60:20	1	0,625	0,433±0,106
	2	0,55	
	3	0,35	
	4	0,22	

Tabel 4.6.c.Nilai konduktivitas termal

Vf (%)	No	k (kkal/mh ^{0}C)	k rerata (kkal/mh ^{0}C)
Pasir:semen:serat 25:45:30	1	0,8	0,745±0,258
	2	0,75	
	3	0,72	
	4	0,71	

Dari tabel tersebut tampak bahwa bertambahnya fraksi volume pasir, maka nilai konduktivitas termalnya bertambah besar, walaupun fraksi serat organiknya lebih besar. Konduktivitas panas gabungan pasir-semen-pith yang di dalamnya terdapat fiber diskontinu dan terdispersi, maka panas mengalir melalui agregat dan pasta semen .

4.5. Pengaruh Nilai Fraksi Volume filler terhadap Radiasi Termal Mortar-*Pith*

Tabel 4.7 Nilai Fraksi volume terhadap radiasi termal bahan

Vf (%)	No	E_{mv} (t1)	E_{mv} (t2)	E_{mv} ®	e_{mv} (kkal/mh^2)
0,1	1	1,15	1,14	0,01	0,305
	2	1,16	1,14	0,01	
	3	1,16	1,14	0,01	
0,2	1	1,15	1,14	0,01	0,305
	2	1,15	1,14	0,01	
	3	1,16	1,14	0,01	
0,3	1	1,16	1,14	0,01	0,305
	2	1,17	1,14	0,01	
	3	1,17	1,14	0,01	

Radiasi termal merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya, dengan kata lain, pancaran radiasi termal diatur oleh suhu pemancarnya. Untuk benda-benda yang tidak memiliki sumber penyedia, benda bisa menerima energi dengan menyerap radiasi dari benda-benda di sekelilingnya, maka laju pemancaran radiasi termal dari benda tergantung pada sifat permukaan. Jika suatu zat padat mengalami perubahan suhu, maka akan menyebabkan perubahan fisik pada ciri permukaan zat padat tersebut. Oleh karena itu emisivitas akan berubah bersamaan dengan perubahan suhu permukaan, walaupun emisivitas adalah sifat suatu permukaan. Menggunakan persamaan 3.6 diperoleh nilai seperti pada tabel 4.7 dengan variasi fraksi volume memperoleh nilai radiasi termal bahan yang sama yaitu sebesar 0,305 kkal/mh^2, pada temperatur 29 ^{0}C, hal tersebut terjadi karena rentang suhunya berada dalam suhu ruangan, sehingga bahan uji belum menyerap panas untuk selanjutnya meradiasikan panas.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1 Kesimpulan

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah melakukan pembuatan komposit mortar (semen-pasir) dan serat organik (*pith*) dengan variasi fraksi volume yang akan dimanfaatkan sebagai material bangunan. Proses analisa dengan melakukan karakterisasi sifat fisika, mekanika, dan termal. Dari eksperimen dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan variasi fraksi volume filler, karakteristik fisis dari mortar-*pith* menunjukkan bahwa semakin besar filler (*pith*) yang ditambahkan, maka densitasnya menurun, porositasnya meningkat, sedangkan nilai modulus elastisitasnya juga menurun yaitu sebesar 1 sampai 3 kN/mm^2. Karakteristik termal melalui konduktivitas termal menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume pasir maka nilai konduktivitasnya semakin meningkat dengan nilai 0,19 kkal/mh ^0C (vf serat 10%), 0,43 kkal/mh ^0C (vf serat 20%), dan 0,75 kkal/mh ^0C (vf serat 30%), radiasi termal bahan pada suhu 30 ^0C menghasilkan nilai 0,305 $kkal/mh^2$.
2. Karakteristik asbes yang terbuat dari limbah industri kertas (pith) hampir sama dengan karakteristik asbes yang ada di pasaran yang memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 1,12 kN/mm^2, densitas sebesar 1,68 g/cm^3, konduktivitas termal sebesar 0,56 kkal/mh ^0C, dan radiasi termal sebesar 0,305 $kkal/mh^2$. Sehingga layak dipergunakan.

3. Komposit yang terdiri dari dua atau lebih material penyusun dipengaruhi oleh bahan penyusunnya yaitu nilai modulus elastisitas, ukuran, geometri, dan kerapatan material penyusunnya.

5.2 SARAN

Untuk pembuatan bahan komposit lebih lanjut sebaiknya diperhatikan sifat fisik dan sifat mekanik (variabel) bahan-bahan penyusunnya sebelum dibuat bahan komposit, untuk jenis bahan dapat memanfaatkan serat (*fiber*) yang lain dan juga logam, untuk fase yang berukuran nano dapat mengembangkan teknologi nanokomposit. Dapat menggunakan metode penekanan dan pengujian yang lain, misalnya uji bending, untuk radiasi termal bahan rentang suhunya perlu ditingkatkan. Perlu melakukan pengujian lebih lanjut tentang sifat mikro untuk mengetahui struktur ikatan antar permukaan dengan menggunakan foto SEM.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, D. Bhagwan and Broutman, J,. Lawrence, 1980, *Analysis and Performance of Fiber Composite*, John Wiley and Sons, Canada.

Beaudoin, j, j, 2004, *Fibre-reinforced concrete*, Institut for research construction, www.Google.com.

Bentur, Arnon dan Sidney, Mendes, 1990, *Fibre Reinforced Cementititous Composites*, Elsevier Applied Science, London dan New York.

Callister, W. D., Jr., 1984, *Introduction to Material Science and Engineering*, John Wiley and Sons, New York.

Frank Kreith, 1997, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, edisi ketiga (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.

Kaw, K. Autar, 1997, *Mechanics of Composite Materials*, CRC Press, New York.

Pollack, D. Daniel, 1990, *Physics of Enginering Material*, Prentice Hall, International Edition, America.

Soerjandani, 2003, *Kompaktibilitas Komposit Isotropik Beton*, Studi Individual program pasca sarjana Bidang Keahlian Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Vlack, V. L. H., 1985, *Science and Elementns of Materials Engineering*, Fourth Edition, Addison Wesley Publishing Company, USA.

Wardani, Rosida, 2004, *Analisa Sifat Komposit Isotropik Dengan Matrik Semen*, Laporan Kerja Praktek di PT. Wijaya Karya Beton Pasuruan, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Lampiran 1

Perhitungan Densitas (ρ) dan Porositas

Tabel 1 Perhitungan Nilai Densitas dan Porositas pada mortar

Vf (%)	mm (g)	mf (g)	mf + mm	Vt (cm^3)	pt (g/cm^3)	pc g/cm^3	porositas
10	3750,10	433.95	4184	1572,13	2,661	2,49	0,065
15	3536,43	650,99	4187	1570,02	2,667	2,501	0,062
20	3333,42	867,896	4201	1571,89	2.672	2,522	0,056
25	3125,09	1084,87	4209	1571,78	2,68	2,503	0,066

Tabel 2 Perhitungan Nilai Densitas dan Porositas pada mortar-*pith*

Vf (%)	mm (g)	mf (g)	mf + mm	Vt (cm^3)	pt (g/cm^3)	Pc g/cm^3	porositas
10	3775.69	27.946	3803.63	2145.46	1.772	1.785	0.007283
20	3359.72	55.892	3415.61	2083.39	1.639	1.752	0.064498
30	2943.67	83.838	3027.51	2065.433	1.465	1.673	0.124328

Perhitungannya berdasarkan persamaan 2.15 yang diperoleh dari

$$V_V = \frac{v_v}{v_c} = \left[\frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t}\right]$$

Dengan V_v = fraksi volume porositas

ρ_c = kerapatan bahan setelah kering

ρ_t = kerapatan bahan teoritis

Kerapatan teoritis diperoleh dari perbandingan antara massa matrik dan massa filler yang digunakan dengan volume komposit teoritis.

Untuk Vf 10 % , $V_t = \frac{3750,10}{2,65} + \frac{433,95}{2,7} = 1572,13\ cm^3$

$$\rho_t = \frac{4184}{1572,13} = 2,661\,g/cm^3$$

$$V_V = \frac{2,66 - 2,49}{2,66} = 0,065$$

Lampiran II

Perhitungan Nilai Upper Lower Bond pada mortar secara teoritis

- Untuk E (modulus elastisitas) longitudinal berdasarkan persamaan 2.1

  $E_l = E_c = 0{,}2x23{,}44 + 0{,}8x2{,}7 = 6{,}85$ kN/mm^2

  $E_c/E_m = 6{,}85/2{,}7 = 2.536$ kN/mm^2

- Untuk E (Modulus elastisitas) transversal berdasarkan persamaan 2.2

  $$E_c = \frac{2{,}7x23{,}44}{1x23{,}44 + 0x2{,}7} = 2{,}7 \text{ kN/mm}^2$$

  $E_c/E_m = 2{,}7/2{,}7 = 1$ kN/mm^2

Tabel 3 Nilai Vf terhadap E_c/E_m Teoritis

No	Vf	Vm	E upper (Ec/Em) kN/mm^2	ET (Ec/Em) kN/mm^2
1	0	1	1	1
2	0,2	0,8	2,536	1,215
3	0,4	0,6	4,073	1,545
4	0,6	0,8	5,609	2,132
5	0,8	0,2	7,145	3,423
6	1	0	8,68	8,68

- Perhitungan nilai upper lower bond secara eksperimen,

Tabel 4 Nilai Vf terhadap E_c/E_m secara eksperimen

No	Vf	Vm	E kN/mm^2	Ec/Em kN/mm^2
1	0,1	0,9	5,812	2,152
2	0,15	0,85	6,657	2,466
3	0,20	0,80	6,978	2,585
4	0,25	0,75	3,75	1,388

- Dengan menggunakan model kubus dari persamaaan 2.47, nilai Em = 2.7 kN/mm^2, Ef = 23,44 kN/mm^2

$$\frac{E_c}{E_m} = \frac{2,7 + (23,44 - 2,7).0,2^{2/3}}{2,7 + (23,44 - 2,7).0,2^{2/3}\left(1 - 0,2^{1/3}\right)} = 1,746 \text{ kN/mm}^2$$

Tabel 5 Nilai Vf terhadap E_c/E_m model Kubus

No	Vf	Ec/Em kN/mm^2
1	0,2	1,746
2	0,4	2,48
3	0,6	3,508
4	0,8	5,187
5	1	8,682

Sehingga terlihat seperti pada gambar 4.1

C. Perhitungan Nilai Upper Lower Bond pada campuran Mortar *Pith*

- Untuk modulus elastisitas longitudinal dari persamaan 2.1, dan modulus elastisitas transversal dari persamaan 2.2

Tabel 6 Nilai Vf terhadap E_c/E_m Teoritis *Concrete-Pith*

No	Vf	Vm	E upper (Ec/Em) kN/mm^2	E lower (Ec/Em) kN/mm^2
1	0	1	1	1
2	0,2	0,8	0,807	0,159
3	0,4	0,6	0,422	0,087
4	0,6	0,8	0,322	0,059
5	0,8	0,2	0,229	0,045
6	1	0	0,037	0,037

➢ Tabel 7. Nilai Vf terhadap E_c/E_m Teoritis *Concrete-Pith* eksperimen

No	Vf	Vm	E eksp (kN/mm^2)	E_R (kN/mm^2)
1	0,1	0,9	3,675	4,729
2	0,20	0,80	2,207	2,207
3	0,30	0,70	1,633	1,633

➢ Berdasarkan model Tabung, dengan karakteristik filler l=4 mm, d=0,1 mm, berdasarkan persamaan 2.3a dan 2.3b, maka diperoleh

$$\eta_L = \frac{\left(\frac{0,212}{5,799}\right)-1}{\left(\frac{0,212}{5,799}\right)+2\left(\frac{4}{0,1}\right)} = -0,107$$

$$\eta_T \frac{\left(\frac{0,212}{5,799}\right)-1}{\left(\frac{0,212}{5,799}\right)+2} = -0,473$$

Berdasarkan persamaan 2.3a dan 2.3b akan dipeoleh nilai E transversal dan E longitudinal, dengan nilai E_M=5,799 kN/mm^2

$$\frac{E_L}{E_m} = \frac{1+\frac{2.4}{0,1}(-0,107).0,1}{1-(-0,107).0,1} = \frac{0,743}{2.360} = 0,735$$

dan E_L=5,799.0,735=4,264 kN/mm^2

$$\frac{E_T}{E_m} = \frac{1+2.(-0,473).0,1}{1-(-0,473).0,1} = \frac{0,905}{1,047} = 0,8645 \text{ kN/mm}^2$$

dan E_T=5,799.0,865=5,013 kN/mm^2

Maka nilai $E_R = \frac{3}{8}.4,264 + \frac{5}{8}.5,013 = 4,729$ kN/mm^2

Dengan memasukkan beberapa konstanta, dan menggunakan persamaan 2.3, maka dapat diperoleh nilai modulus elastisitas secara random.

$$\eta_l = \frac{\left(\frac{0,212}{5,799}\right)}{\left(\frac{0,212}{5,799}\right) + 2.\left(\frac{4}{0,1}\right)} = -0,107$$

$$\eta_T = \frac{\left(\frac{0,212}{5,799}\right) - 1}{\left(\frac{0,212}{5,799}\right) + 2} = -0,473$$

Tabel 8. Perhitungan model Tabung

No	E_L	E_T	E_R
1	4,264	5,013	4,729
2	-4,04	4,29	1,178
3	-8,81	3,64	-1,031

Nilai Konduktivitas Termal

Tabel 9. a Nilai konduktivitas Termal dengan Vf pasir:semen:pith 15:75:10

Sampel	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	k_a	k_b	Δt_R	k
1	175,4	173,5	172,0	170,6	46,8	46,4	27,3	27,2	27,1	0,56	0,26	1	0,204
2	176,1	174,7	173,6	172,4	49,3	48,9	27,6	27,3	27,3	0,40	0,21	0,8	0,167
3	177,3	175,8	174,6	173,4	51,1	50,7	27,8	27,5	27,5	0,38	0,22	0,84	0,182
4	178,4	176,4	175,0	173,8	52,5	52	27,9	27,6	27,6	0,43	0,25	0,98	0,207

Tabel 9. b Nilai konduktivitas Termal dengan Vf pasir:semen:pith 20:60:20

Sampel	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	k_a	k_b	Δt_R	k
1	184,1	175,9	170,6	168,0	42,4	42,0	26,9	26,8	26,7	2,32	0,84	3,28	0,63
2	187,3	180,0	175,2	172,7	43,4	42,9	26,9	26,8	26,7	1,97	0,73	2,96	0,55
3	186,4	181,6	178,0	175,9	44,1	43,7	27,0	26,9	26,8	1,37	0,52	2,14	0,35
4	183,7	181,5	179,6	178,0	45,0	44,6	26,9	26,8	26,7	0,71	0,29	1,18	0,22

Tabel 9. b Nilai konduktivitas Termal dengan Vf pasir:semen:pith 25:45:30

Sampel	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	k_a	k_b	Δt_R	k
1	185,9	178,2	172,6	169,9	54,3	53,7	27,2	27.0	26,8	1,32	0,90	3,28	0,80
2	189,5	181,8	176,3	173,6	55,0	54,4	27,2	27.0	26,9	1,27	0,87	3,24	0,75
3	193,4	185,9	180,3	177,6	55,7	55,2	27,2	27.0	26,9	1,23	0,85	3,22	0,72
4	197,0	189,5	184,0	181,3	56,5	56,0	27,2	27.0	26,9	1,89	0,82	3,20	0,71

Lampiran III

A. Data Uji Modulus Elastisitas Campuran Pasir-Semen (mortar)

Sampel 1

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Δl1-1	Regangan (mm)	Δl1-2	Regangan	Rerata Regangan
10	0.001053	0.34	0.001619	0.25	0.001282	0.001451
20	0.002106	0.52	0.002476	0.27	0.001385	0.00193
30	0.003158	0.58	0.002762	0.37	0.001897	0.00233
40	0.004211	0.62	0.002952	0.44	0.002256	0.002604
50	0.005264	0.65	0.003095	0.5	0.002564	0.00283
60	0.006317	0.68	0.003238	0.55	0.002821	0.003029
70	0.00737	0.708	0.003371	0.6	0.003077	0.003224
80	0.008422	0.735	0.0035	0.64	0.003282	0.003391
90	0.009475	0.765	0.003643	0.8	0.004103	0.003873
100	0.010528	0.803	0.003824	0.71	0.003641	0.003732
110	0.011581	0.84	0.004	0.75	0.003846	0.003923
120	0.012634	0.87	0.004143	0.78	0.004	0.004071
130	0.013686	0.905	0.00431	0.81	0.004154	0.004232
140	0.014739	0.94	0.004476	0.84	0.004308	0.004392
150	0.015792	0.975	0.004643	0.87	0.004462	0.004552
160	0.016845	1	0.004762	0.9	0.004615	0.004689
170	0.017898	1.04	0.004952	0.93	0.004769	0.004861
180	0.01895	1.07	0.005095	0.96	0.004923	0.005009
190	0.020003	1.102	0.005248	0.99	0.005077	0.005162
200	0.021056	1.15	0.005476	1.02	0.005231	0.005353
210	0.022109	1.175	0.005595	1.045	0.005359	0.005477
220	0.023162	1.22	0.00581	1.07	0.005487	0.005648
230	0.024214	1.26	0.006	1.105	0.005667	0.005833
240	0.025267	1.31	0.006238	1.14	0.005846	0.006042
250	0.02632	1.37	0.006524	1.18	0.006051	0.006288
260	0.027373	1.43	0.00681	1.215	0.006231	0.00652

Sampel 2

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	ΔI2-1	Regangan2-1	ΔI2-2	Regangan2-2	ΔI2-3	Regangan2-3	Rerata Regangan
10	0.001053	0.18	0.000918	0.13	0.000607	0.23	0.001192	0.000906
20	0.002106	0.26	0.001327	0.23	0.001075	0.31	0.001606	0.001336
30	0.003158	0.31	0.001582	0.298	0.001393	0.38	0.001969	0.001648
40	0.004211	0.35	0.001786	0.35	0.001636	0.44	0.00228	0.0019
50	0.005264	0.365	0.001862	0.4	0.001869	0.49	0.002539	0.00209
60	0.006317	0.385	0.001964	0.45	0.002103	0.54	0.002798	0.002288
70	0.00737	0.4	0.002041	0.498	0.002327	0.59	0.003057	0.002475
80	0.008422	0.411	0.002097	0.54	0.002523	0.63	0.003264	0.002628
90	0.009475	0.42	0.002143	0.57	0.002664	0.68	0.003523	0.002777
100	0.010528	0.423	0.002158	0.618	0.002888	0.73	0.003782	0.002943
110	0.011581	0.428	0.002184	0.648	0.003028	0.77	0.00399	0.003067
120	0.012634	0.429	0.002189	0.68	0.003178	0.81	0.004197	0.003188
130	0.013686	0.43	0.002194	0.715	0.003341	0.85	0.004404	0.003313
140	0.014739	0.431	0.002199	0.75	0.003505	0.89	0.004611	0.003438
150	0.015792	0.442	0.002255	0.782	0.003654	0.93	0.004819	0.003576
160	0.016845	0.45	0.002296	0.815	0.003808	0.96	0.004974	0.003693
170	0.017898	0.453	0.002311	0.845	0.003949	0.995	0.005155	0.003805
180	0.01895	0.462	0.002357	0.88	0.004112	1.03	0.005337	0.003935
190	0.020003	0.485	0.002474	0.908	0.004243	1.065	0.005518	0.004079
200	0.021056	0.5	0.002551	0.938	0.004383	1.1	0.005699	0.004211
210	0.022109	0.525	0.002679	0.97	0.004533	1.14	0.005907	0.004373
220	0.023162	0.55	0.002806	1.015	0.004743	1.165	0.006036	0.004528
230	0.024214	0.591	0.003015	1.05	0.004907	1.2	0.006218	0.004713
240	0.025267	0.635	0.00324	1.085	0.00507	1.23	0.006373	0.004894
250	0.02632	0.672	0.003429	1	0.004673	1.275	0.006606	0.004903
260	0.027373	0.685	0.003495	1.18	0.005514	1.31	0.006788	0.005265
270	0.028426	0.72	0.003673	1.24	0.005794	1.34	0.006943	0.00547
280	0.029478	0.77	0.003929	1.3	0.006075	1.37	0.007098	0.005701
290	0.030531	0.83	0.004235	1.38	0.006449	1.405	0.00728	0.005988

Sampel 3

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	ΔI3-2 (mm)	Regangan3-2	ΔI3-3 (mm)	Regangan3-3	Rerata
10	0.001053	0.18	0.0009	0.14	0.0007	0.0008
20	0.002106	0.265	0.001325	0.19	0.00095	0.001138
30	0.003158	0.315	0.001575	0.26	0.0013	0.001438
40	0.004211	0.41	0.00205	0.315	0.001575	0.001813
50	0.005264	0.45	0.00225	0.36	0.0018	0.002025
60	0.006317	0.5	0.0025	0.39	0.00195	0.002225
70	0.00737	0.54	0.0027	0.42	0.0021	0.0024
80	0.008422	0.58	0.0029	0.455	0.002275	0.002588
90	0.009475	0.61	0.00305	0.48	0.0024	0.002725
100	0.010528	0.64	0.0032	0.51	0.00255	0.002875
110	0.011581	0.67	0.00335	0.535	0.002675	0.003013
120	0.012634	0.695	0.003475	0.56	0.0028	0.003138
130	0.013686	0.721	0.003605	0.58	0.0029	0.003253
140	0.014739	0.75	0.00375	0.608	0.00304	0.003395
150	0.015792	0.775	0.003875	0.63	0.00315	0.003513
160	0.016845	0.805	0.004025	0.653	0.003265	0.003645
170	0.017898	0.83	0.00415	0.672	0.00336	0.003755
180	0.01895	0.86	0.0043	0.692	0.00346	0.00388
190	0.020003	0.885	0.004425	0.715	0.003575	0.004
200	0.021056	0.91	0.00455	0.735	0.003675	0.004113
210	0.022109	0.93	0.00465	0.755	0.003775	0.004213
220	0.023162	0.96	0.0048	0.775	0.003875	0.004338
230	0.024214	0.982	0.00491	0.795	0.003975	0.004443
240	0.025267	1.01	0.00505	0.819	0.004095	0.004573
250	0.02632	1.038	0.00519	0.84	0.0042	0.004695
260	0.027373	1.07	0.00535	0.87	0.00435	0.00485
270	0.028426	1.09	0.00545	0.892	0.00446	0.004955
280	0.029478	1.122	0.00561	0.915	0.004575	0.005093
290	0.030531	1.15	0.00575	0.94	0.0047	0.005225
300	0.031584	1.92	0.0069	0.975	0.004875	0.005888
310	0.032637	1.215	0.006075	1	0.005	0.005538
320	0.03369	1.248	0.00624	1.03	0.00515	0.005695
330	0.034742	1.285	0.006425	1.06	0.0053	0.005863
340	0.035795	1.315	0.006575	1.08	0.0054	0.005988
350	0.036848	1.33	0.00665	1.09	0.00545	0.00605
360	0.037901	1.36	0.0068	1.135	0.005675	0.006238
370	0.038954	1.402	0.00701	1.1778	0.005889	0.00645
380	0.040006	1.448	0.00724	1.22	0.0061	0.00667
390	0.041059	1.505	0.007525	1.255	0.006275	0.0069
400	0.042112	1.555	0.007775	1.31	0.00655	0.007163
410	0.043165	1.62	0.0081	1.358	0.00679	0.007445
420	0.044218	1.722	0.00861	1.45	0.00725	0.00793
430	0.04527	1.81	0.00905	1.52	0.0076	0.008325

Sampel 4

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Δl4-1	Regangan4-1	Δl4-2	Regangan	Rerata
10	0.001053	0.18	0.001731	0.38	0.001881	0.001806
20	0.002106	0.124	0.001192	0.4	0.00198	0.001586
30	0.003158	0.31	0.002981	0.57	0.002822	0.002901
40	0.004211	0.355	0.003413	0.65	0.003218	0.003316
50	0.005264	0.4	0.003846	0.78	0.003861	0.003854
60	0.006317	0.41	0.003942	0.9	0.004455	0.004199
70	0.00737	0.46	0.004423	0.99	0.004901	0.004662
80	0.008422	0.49	0.004712	1.06	0.005248	0.00498
90	0.009475	0.51	0.004904	1.115	0.00552	0.005212
100	0.010528	0.535	0.005144	1.18	0.005842	0.005493
110	0.011581	0.55	0.005288	1.225	0.006064	0.005676
120	0.012634	0.575	0.005529	1.29	0.006386	0.005957
130	0.013686	0.598	0.00575	1.33	0.006584	0.006167
140	0.014739	0.61	0.005865	1.375	0.006807	0.006336
150	0.015792	0.63	0.006058	1.415	0.007005	0.006531
160	0.016845	0.65	0.00625	1.46	0.007228	0.006739
170	0.017898	0.67	0.006442	1.51	0.007475	0.006959
180	0.01895	0.68	0.006538	1.595	0.007896	0.007217
190	0.020003	0.7	0.006731	1.64	0.008119	0.007425
200	0.021056	0.715	0.006875	1.68	0.008317	0.007596
210	0.022109	0.735	0.007067	1.715	0.00849	0.007779
220	0.023162	0.75	0.007212	1.77	0.008762	0.007987
230	0.024214	0.78	0.0075	1.817	0.008995	0.008248
240	0.025267	0.805	0.00774	1.863	0.009223	0.008482
250	0.02632	0.812	0.007808	1.905	0.009431	0.008619

B. Data Uji Modulus Elastsitas Campuran Semen-Pasir-Pith (mortar-pith)

Sampel I[a]

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Regangan (1-1)	Regangan (1-2)	Regangan (1-3)	Regangan (1-4)
10	0.001274	0.001515	0.002879	0.003182	0.002778
20	0.002548	0.002424	0.002929	0.003232	0.00399
30	0.003822	0.003232	0.00399	0.003939	0.004495
40	0.005096	0.003778	0.004697	0.004242	0.004975
50	0.006369	0.004242	0.005051	0.004394	0.005227
60	0.007643	0.004899	0.005455	0.005101	0.005611
70	0.008917	0.005051	0.005758	0.005354	0.005631
80	0.010191	0.005404	0.006061	0.005556	0.006313
90	0.011465	0.005732	0.006414	0.005808	0.006616
100	0.012739	0.006061	0.006717	0.006162	0.006919
110	0.014013	0.006313	0.007045	0.006364	0.007172
120	0.015287	0.006667	0.007323	0.006616	0.007475
130	0.016561	0.00697	0.007677	0.006843	0.007727
140	0.017834	0.007323	0.00803	0.007066	0.00798
150	0.019108	0.007652	0.008333	0.007298	0.00846
160	0.020382	0.008005	0.008687	0.007525	0.008778
170	0.021656	0.008485	0.00899	0.007753	0.009141
180	0.02293	0.008737		0.00803	0.009596
190	0.024204			0.008232	0.010202
200	0.025478			0.008485	0.010909
210	0.026752			0.008788	
220	0.028025			0.00904	
230	0.029299			0.009394	
240	0.030573			0.009899	

Sampel II[a]

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Regangan (II-1)	Regangan (II-2)	Regangan (II-3)	Regangan (II-4)
10	0.001274	0.003216	0.001515	0.00196	0.001658
20	0.002548	0.003266	0.003485	0.002211	0.002864
30	0.003822	0.004372	0.003737	0.003065	0.003769
40	0.005096	0.005226	0.00399	0.003568	0.004523
50	0.006369	0.005678	0.004343	0.00402	0.005427
60	0.007643	0.006181	0.004949	0.004422	0.006683
70	0.008917	0.006633	0.005455	0.004849	0.007487
80	0.010191	0.007085	0.005808	0.005226	0.008291
90	0.011465	0.007538	0.006212	0.005578	
100	0.012739	0.00794	0.006566	0.005955	
110	0.014013		0.007121	0.006332	
120	0.015287		0.007828	0.006759	
130	0.016561		0.008434	0.007186	
140	0.017834		0.009091	0.007638	
150	0.019108		0.01	0.008945	

Sampel III[a]

P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Regangan III-1	Regangan (III-2)	Regangan (III-3)	Regangan (III-4)
10	0.001274	0.003232	0.001313	0.004343	0.002727
20	0.002548	0.003283	0.00351	0.007475	0.005025
30	0.003822	0.004394	0.003687	0.009242	0.005303
40	0.005096	0.005253	0.003939	0.010758	0.005606
50	0.006369	0.005707	0.004369	0.012222	0.006162
60	0.007643	0.006212	0.004848	0.014545	0.006818
70	0.008917	0.006667	0.005303	0.016162	0.007626
80	0.010191	0.007121	0.006263		0.008535
90	0.011465	0.007576	0.007121		0.009444
100	0.012739	0.00798			0.010606

Lampiran IV

Perhitungan beberapa nilai karakteristik produk asbes yang beredar di pasaran setelah dilakukan pengujian.

- Persamaan 2.9 digunakan untuk menentukan densitas suatu bahan

Untuk m = 101,57 g dan

v= 60,29 cm^3 maka nilai ρ = 1,68 g/ cm^3

- Nilai modulus elastisitas

No	P (kN)	Tegangan (kN/mm^2)	Regangan	E (kN/mm^2)	E rata-rata (kN/mm^2)
1	4,1	0,0246	0,022	1,180	1,12
2	1,3	0,0418	0,037	1,130	
3	3,6	0,049	0,048	1,021	

- Nilai konduktivitas Termal

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	k_a	k_b	Δt_R	k
186,4	181,5	178	175,8	44,1	43,7	27	26.01	26,8	1,32	0,90	3,28	0,56

- Nilai Radiasi Termal Bahan

Bahan Asbes	No	E_{mv} (t1)	E_{mv} (t2)	E_{mv} ®	e_{mv} ($kkal/mh^2$)
0,1	1	1,15	1,14	0,01	0,305
	2	1,17	1,13	0,01	
	3	1,17	1,14	0,01	

Lampiran V

Penurunan Persamaan Upper Lower Bound

Untuk komposit arah penguatan unidireccional atau Longitudinal (E_L)

$\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$ .....(1)

$\sigma_f = E_f . \varepsilon_f$; $\sigma_m = E_m . \varepsilon_m$ .....(2)

$P_f = \sigma_f A_f = E_f . \varepsilon_f A_f$; $P_m = \sigma_m A_m = E_m . \varepsilon_m A_m$ .....(3)

$P_c = P_f + P_m$ .....(4)

$P_c = \sigma_C A_C = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m$ atau $\sigma_C = \sigma_f \frac{A_f}{A_c} + \sigma_C \frac{A_m}{Ac}$

$V_f = \frac{A_{fA}}{A_c} = \frac{A_{fA}}{A_c}$ .....(6)

Maka $\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m$ .....(7)

$$\frac{d\sigma_c}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma_f}{d\varepsilon} V_f + \frac{d\sigma_m}{d\varepsilon} V_m$$ .....(8)

Untuk komposit arah penguatan tegak lurus (E_T)

$\delta_c = \delta_c + \delta_c$ .....(8)

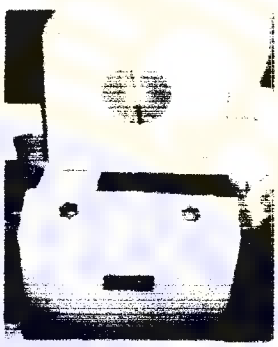
$\delta_c = \varepsilon_c . t_c$; $\delta_f = \varepsilon_f . t_f$; $\delta_m = \varepsilon_m . t_m$ .....(9)

$\varepsilon_c . t_c = \varepsilon_f . t_f + \varepsilon_m . t_m$; $\varepsilon_c = \varepsilon_f \frac{t_f}{t_c} + \varepsilon_m \frac{t_m}{t_c}$; $\varepsilon_c = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m$ .....(10)

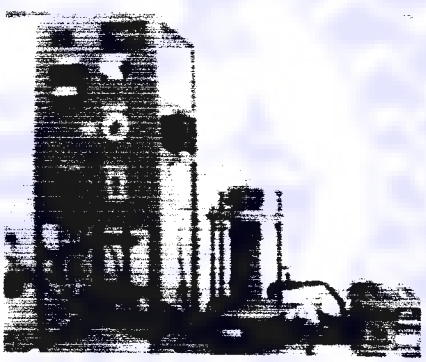
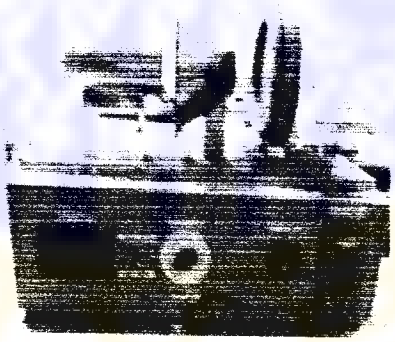
$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$, maka $\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_f}{E_f} V_f + \frac{\sigma_m}{E_m} V_m$ .....(11)

Lampiran VI

Alat uji Tekan dan Regangan ASTM C 496



Gambar alat uji konduktivitas Termal



Gambar alat uji Sifat termal bahan (emisivitas)