

LAPORAN AKHIR

**HIBAH BERSAING (TAHUN – I)
PROGRAM DESENTRALISASI**

JUDUL PENELITIAN:

**APLIKASI MULTI KOMPONEN MATERIAL SEBAGAI
PENYIMPAN PANAS PADA SISTEM PENDINGIN
UDARA (AC) RAMAH LINGKUNGAN**



Peneliti:

- 1. Dr. Ir. Suditama, MT (Ketua)**
- 2. Ir. Amru Siregar, MT (Anggota)**

**Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi,
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan,
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing
Nomor : 021/K1.2.2/KL/2013**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
DESEMBER 2013**

LAPORAN AKHIR

HIBAH BERSAING (TAHUN – I) PROGRAM DESENTRALISASI

JUDUL PENELITIAN:

APLIKASI MULTI KOMPONEN MATERIAL SEBAGAI PENYIMPAN PANAS PADA SISTEM PENDINGIN UDARA (AC) RAMAH LINGKUNGAN



Peneliti:

1. Dr. Ir. Suditama, MT (Ketua)
2. Ir. Amru Siregar, MT (Anggota)

Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi,
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan,
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing
Nomor : 021/K1.2.2/KL/2013

UNIVERSITAS MEDAN AREA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
DESEMBER 2013

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN HJBAH BERSAING

Judul Kegiatan : Aplikasi Multi Komponen Material Sebagai Penyimpan Panas Pada Sistem Pendingin Udara (AC) Ramah Lingkungan

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 431 / Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

Ketua Peneliti

A. Nama Lengkap : Dr. Ir. SUDITAMA MT.
B. NIDN : 0021026201
C. Jabatan Fungsional : Lektor
D. Program Studi : Teknik Mesin
E. Nomor HP : 082167615020
F. Surel (e-mail) : suditama@yahoo.com

Anggota Peneliti (1)

A. Nama Lengkap : Ir. AMRU SIREGAR M.T.
B. NIDN : 0022065901
C. Perguruan Tinggi : Universitas Medan Area

Lama Penelitian Keseluruhan : 3 Tahun

Penelitian Tahun ke : 1

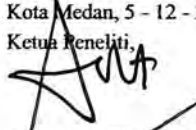
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 202.935.000,00

Biaya Tahun Berjalan :

- diusulkan ke DIKTI	Rp 67.045.000,00
- dana internal PT	Rp 0,00
- dana institusi lain	Rp 0,00
- inkind sebutkan	0

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik UMA

(Dr. H. Hanjiza, MT)
NIP/NIK 196101311987031001

Kota Medan, 5 - 12 - 2013,
Ketua Peneliti,

(Dr. Ir. SUDITAMA MT.)
NIP/NIK

Mengesahkan,
Ketua Lembaga Penelitian

(Dr. H. Suswati, MP)
NIP/NIK 196505251989032002

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	1
ABSTRAK	2
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	3
BAB II TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN PERTAMA	
2.1 Tujuan Penelitian	7
2.2 Mamfaat Penelitian	7
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB IV METODE PENELITIAN	12
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Massa Jenis	16
5.2. Konduktivitas Termal	18
5.3. Koefisien Ekspansi Termal	19
5.4. Viskositas	20
5.5. Panas Spesifik	22
5.6. Difusivitas Termal	24
5.7. Nomor Prandl	25
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan Penelitian	27
6.2. Saran	28
BAB VII RENCANA PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA (TAHAP II)	
7.1. Tujuan Penelitian Tahap Kedua	29
7.2. Metode Penelitian Tahap Kedua	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	33

ABSTRAK

Pada penelitian ini akan dirancang suatu peralatan sistem pengkondisian udara/Air Conditioner (AC) yang menggunakan sistem penyimpanan panas, panas tersebut diserap dari pipa-pipa panas (pipa kondenser) yang terdapat pada sistem pengkondisian udara (AC). Pipa-pipa panas dibenam pada material penyimpan panas (multi komponen material) sehingga sebagian besar panas diserap oleh bahan tersebut. Penyerapan panas yang dilakukan akan menyebabkan peningkatan kerja peralatan kompresor pada sistem pengkondisian udara tersebut. Pada umumnya pendinginan pipa-pipa panas pada sistem pengkondisian udara dilakukan dengan menggunakan kipas, penggunaan bahan penyimpan panas pada sistem pengkondisian udara dapat menggantikan peran kipas sebagai alat pendingin. Panas yang diserap tidak terbuang langsung kepada lingkungan karena terserap pada bahan penyimpan panas. Sebelum ini penggunaan kipas sebagai alat pendingin pipa-pipa kondenser pengkondisian udara (AC) tersebut akan menyebabkan pemanasan langsung kepada lingkungan. Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan panas global, penggunaan penyimpan panas bukan hanya menurunkan pemakaian tenaga listrik pada sistem pengkondisian udara dan juga mengurangi pemanasan global. Karakteristik perpindahan panas pada bahan bahan penyimpan panas dan dan pipa-pipa kondenser serta unjuk kerja dianalisa pada penelitian ini. Besar penghematan energi dengan menggunakan bahan penyimpan panas dibandingkan dengan memakai kipas sebagai prioritas utama dalam analisa penelitian ini.

Kata Kunci: Energi, Penkondisian udara, material penyimpan panas, panas global

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi, penduduk, pengembangan wilayah, dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi disemua sektor pengguna energi secara nasional dan global juga semakin meningkat. Pemakaian energi dunia dipenuhi oleh sumber daya tak terbarukan (fosil), seperti minyak bumi dan batubara. Namun, tidak selamanya energi tersebut dapat memenuhi seluruh kebutuhan dalam jangka panjang dan cadangan energi semakin lama semakin menipis serta proses produksinya membutuhkan waktu jutaan tahun.

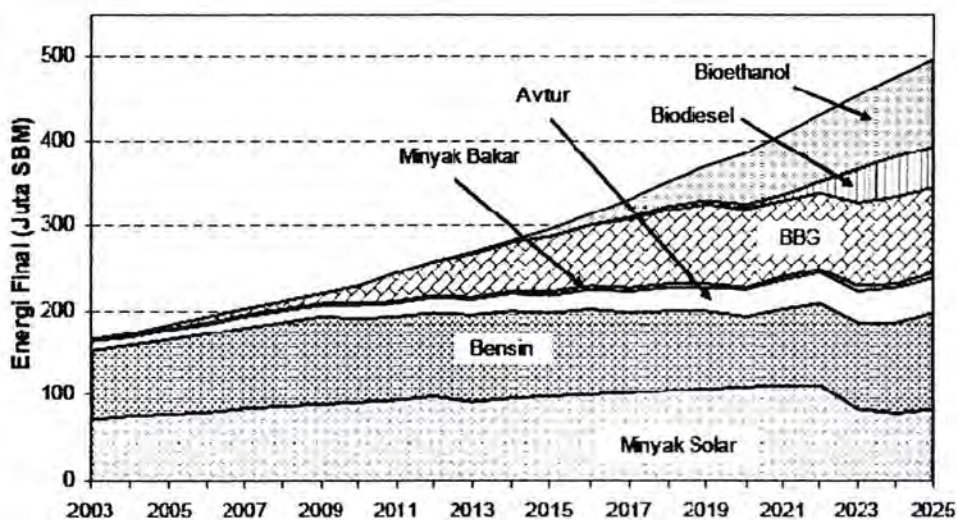
Krisis bahan bakar fosil di Indonesia telah terlihat indikasinya dengan terjadinya kelangkaan di beberapa tempat. Krisis bahan bakar minyak (BBM) ini diakibatkan oleh harga minyak mentah yang melonjak sangat tinggi di samping cadangan minyak mentah Indonesia yang terbatas sedangkan konsumsi energi terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk sehingga produksi dalam negeri berkurang. Karena keterbatasan produksi BBM dari kilang domestik, Pertamina terpaksa masih mengimpor bahan bakar minyak nasional. Kapasitas kilang Pertamina hanya 1,030 juta kiloliter per tahun. Sementara, kebutuhan BBM nasional sekitar 1,4 juta

kiloliter per tahun. Oleh karena itu, Pertamina masih harus mengimpor BBM dari luar negeri. Untuk BBM jenis premium, tahun 2013 ini Pertamina akan mengimpor sekitar 8,8 juta kiloliter. Produksi Premium dari kilang Pertamina hanya 10,9 juta kiloliter sementara kebutuhan Premium nasional sebesar 19,7 juta kiloliter. Untuk BBM jenis solar Pertamina akan mengimpor 6,3 juta liter untuk menutupi kekurangan produksi kilang domestik yang sebesar 16,7 juta kiloliter. Kebutuhan Solar nasional adalah sebesar 22 juta kilo liter (<http://matanews.com/2013/06/11/>)

Kenaikan pertumbuhan ekonomi serta populasi dengan segala aktivitasnya akan meningkatkan kebutuhan energi di semua sektor pengguna energi. Peningkatan kebutuhan energi tersebut harus didukung adanya pasokan energi jangka panjang secara berkesinambungan, terintegrasi, dan ramah lingkungan. Pasokan energi diusahakan berasal dari sumber energi dalam negeri dan dari impor dari negara lain apabila pasokan energi dalam negeri tidak mencukupi. Mengingat potensi sumberdaya minyak bumi dan kemampuan kapasitas kilang di dalam negeri yang terbatas maka perlu dicarikan solusi untuk penghematan BBM.

Penghematan energi menjadi solusi pemenuhan kebutuhan energi yang semakin lama semakin besar di masa mendatang. Terkait dengan krisis energi bahan bakar yang akan dialami Indonesia sekitar 20-30 tahun mendatang, maka untuk mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian minyak bumi, pengembangan pemakaian energy listrik menjadi salah satu alternatif solusi untuk mengatasi krisis energi di masa datang.

Kebutuhan akan minyak bumi di Indonesia mencapai 1.300.000 barel/hari, sementara cadangan yang dimiliki hanya sebesar 900.000 barel/hari. Jadi, setiap harinya perlu tambahan sekitar 400.000 barel untuk pemenuhan kebutuhan minyak bumi. Pengembangan energi alternatif, bisa meminimalisir kemungkinan terjadinya krisis energi di masa datang. Sejalan dengan permasalahan tersebut, pemerintah melalui Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 telah mengeluarkan kebijakan energi nasional. Kebijakan ini bertujuan untuk mewujudkan terjaminnya pasokan energi dalam negeri. Kebijakan utama meliputi penyediaan energi yang optimal, pemanfaatan energi yang efisien, penetapan harga energi ke arah harga keekonomian dan pelestarian lingkungan. Kebijakan utama tersebut didukung dengan pengembangan infrastruktur, kemitraan dunia usaha, pemberdayaan masyarakat dan pengembangan penelitian. Kebijakan energi nasional ini juga memuat upaya untuk melakukan diversifikasi dalam pemanfaatan energi. Usaha diversifikasi ini ditindaklanjuti dengan dikeluarkannya Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 tentang penghematan energi dan penggunaan energi final dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Prakiraan Penggunaan Energi di Sektor Ttransportasi di Indonesia.



Energi baruterbarukan (Renewal Energy) adalah suatu permintaan untuk mengurangi pemakaian energi atau penghematan energi. Pada masa ini penghematan energi bukan hanya sebagai pembicaraan di dalam satu negara maupun manca negara. Usaha konservasi energi ini tidak hanya dilakukan pada perencanaan baru yang akan diproduksi, juga dilaksanakan perbaikan-perbaikan pada peralatan yang lama sebagai pertimbangan peralatan tersebut memenuhi kondisi untuk melaksanakan penghematan energi. Pemakaian energi yang minimum setelah akan dapat dilakukan dengan modifikasi pada peralatan tersebut dan harus dapat memenuhi kriteria pada tahap memuaskan kepada si pemakai atau konsumen. Konsekuennya masalah penghematan energi ini menjadi suatu kriteria yang harus dilaksanakan bagi setiap produsen peralatan agar mampu bersaing dalam perdagangan global, dan masalah ini telah dibicarakan dalam Protokol Kyoto Jepang. Bagaimanapun, gedung-gedung besar atau bertingkat dan industri-industri, merupakan tempat yang banyak menyerap tenaga listrik, apakah itu untuk penerangan, terutamanya sistem pengkondisian udara (AC), alat pengangkat lift dan motor-motor penggerak lainnya. Dari katagori pemakaian energi peralatan-peralatan tersebut, pemakaian energi untuk AC mencapai 72% dari total pemakaian listrik yang ada. Menurut kriteria pemakaian energi pada negara-negara yang sedang berkembang, sebuah bangunan dikategorikan super-hemat energi jika pemakaian energi maksimal 150 kwh per tahun per meter persegi. Untuk pemakaian energi sebesar 150-200 kwh per meter persegi per tahun digolongkan hemat energi, 200-250 kWh per tahun per meter persegi tergolong biasa, dan lebih dari itu dikelompokkan pada boros energi. Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan oleh Ikatan Ahli Fisik Bangunan Indonesia (IAFBI), pemakaian energi rata-rata gedung di Jakarta adalah 310 kwh per meter persegi setiap tahunnya, ini dikelompokkan dalam boros energi. Hasil survei tersebut mengidentifikasi hanya 10 % bangunan gedung di Jakarta yang yang dapat dikelompokkan dalam hemat energi. Data hasil survei ASEAN Centre for Energy (ACE) juga menyebutkan, bahwa Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi paling besar untuk dilaksanakan program penghematan energi listrik. Di Negara Indonesia berpotensi karena tingginya pemakaian energi listrik alat pendingin ini dapat dikurangi dengan memodifikasi alat tersebut. Kemudian, oleh karena peneritian penghematan energi dengan cara merancang alat penyimpan panas pada sistem pengkondisian udara, yang berfungsi sebagai penyerap panas pada pipa-pipa kondenser belum ada dilakukan, maka ketua peneliti terpanggil dan bertanggung jawab dalam

merealisasikan penghematan energi dan Isu panas global (Gobal warming) tersebut terutama pada sistem pengkondisian udara.

II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE-I

2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian tahun ke pertama ini bertujuan untuk mendapatkan material penyimpan panas yang memenuhi kriteria termodinamik, kinetik, kimia dan ekonomi yang akan digunakan pada penelitian berikutnya..

2.2 Manfaat Penelitian

Pemakaian energi listrik alat pendingin udara dapat dikurangi dengan memodifikasi sistem peralatan tersebut. Penggunaan material penyimpan panas dengan cara merancang alat penyimpan panas pada sistem pengkondisian udara, yang berfungsi sebagai penyerap panas pada pipa-pipa kondenser. Peran kipas sebagai penyerap panas dapat digantikan dengan penggunaan material penyimpan panas, maka penghematan tenaga listrik dapat terlaksana pada alat pendingin udara. Implikasi penelitian adalah terealisasikan penghematan energi dan isu panas global (Gobal warming) tersebut terutama pada sistem pengkondisian udara.

III. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang material penyimpan panas dan peralatan sistem penyimpanan panas berkembang sangat pesatnya ini dibuktikan dengan banyaknya tulisan-tulisan yang dipublikasikan oleh para saintis. Saintis Johannes P. et. al. (2013) melakukan penelitian untuk penyimpan panas pada temperature tinggi, menggunakan material metal sebagai material untuk kondisi peralihan fasa dan material perpindahan panas digunakan fluidsopen access. Hasil penelitian tersebut adalah dapat menurunkan biaya dan volume dan beberapa kelebihan dalam penggunaan penyimpan panas latent. Material peralihan fasa metallic mempunyai konduktivitas termal tinggi, yang berhubungan langsung dengan pemasukan dan pengeluaran panas pada sistem penyimpanan panas dan pengoperasiannya dapat mencapai temperature 560 °C. Pada studi ini penggunaan eutectic aluminium-silicon alloy, AlSi12, diindikasikan berpotensi sebagai material peralihan fasa yang baik dan mempunyai titik lebur 577 °C dan di atas temperature kerja fluida perpindahan panas. Sistem penyimpanan panas direncanakan dapat menyimpan energy panas sebesar 100 MW dalam waktu 15 jam penyimpanan. Analisa Termodinamik dan perpindahan panas menghasilkan suatu konsep yang dapat diterima dan menunjukkan biaya material AlSi12 sebagai material penyimpan panas adalah 14.7 US\$ per kWh dari penyimpanan panas termal.

Sari (2004) melaksanakan penelitian sifat-sifat komposit paraffin yang mempunyai masa jenis tinggi (High Density Polyethylene/HDPE) pada keadaan perubahan fasa (phase change) untuk mengetahui sifat-sifat termalnya dan aplikasinya sebagai penyimpan panas.

Shiina (2004) melaksanakan kajian efektif dan efisien studies the efficiency konduktivitas termal material penyimpan panas kapsul dan karakteristik pada penyimpanan panas laten. Konduktivitas termal akan naik dengan penambahan metal pada saat terjadinya perubahan fasa (peleburan).

Suditama (2003, 2005, 2011), telah mengenal dengan baik bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai bahan penyimpan panas diantaranya parafin, mikro, Kendal, damar, gondorukem dll. Semua bahan penyimpan panas tersebut banyak terdapat dalam perdagangan di wilayah Republik Indonesia, dan biasanya banyak digunakan dalam industri tekstil terutamanya pembuatan motif kain batik. Sebagian besar digunakan pada industri kesenian atau kerajinan tangan untuk pembuat patung dan sebagai alat penerangan. Sifat-sifat fisik dan termofisik

dari bahan-bahan tersebut akan diteliti di laboratorium, diantaranya adalah massa jenis (densiti), viskositas/kekentalan, panas spesifik, thermal konduktivitas, dan kapasitas panas peleburan. Pengukuran densiti dilakukan dengan menggunakan densiti meter atau piknometer, dan dilaksanakan pada range temperature 20 sampai 80⁰c dengan kenaikan temperature 5⁰c, pada phasa padat dan cair (solid and liquid phase). Pengukuran viskositas dilakukan dengan menggunakan peralatan viscometer jenis Brookfield LV. Pengukuran dilakukan hanya pada phasa cair (di atas temperatur pencairan /melting point) dilakukan pada beberapa kondisi temperatur, terakhir pada temperatur 80⁰c. Panas jenis spesifik dan panas peleburan (enthalpy of fusion/latent heat) dilakukan dengan menggunakan peralatan Differential scanning calorimetry (DSC).

IV. METODE PENELITIAN

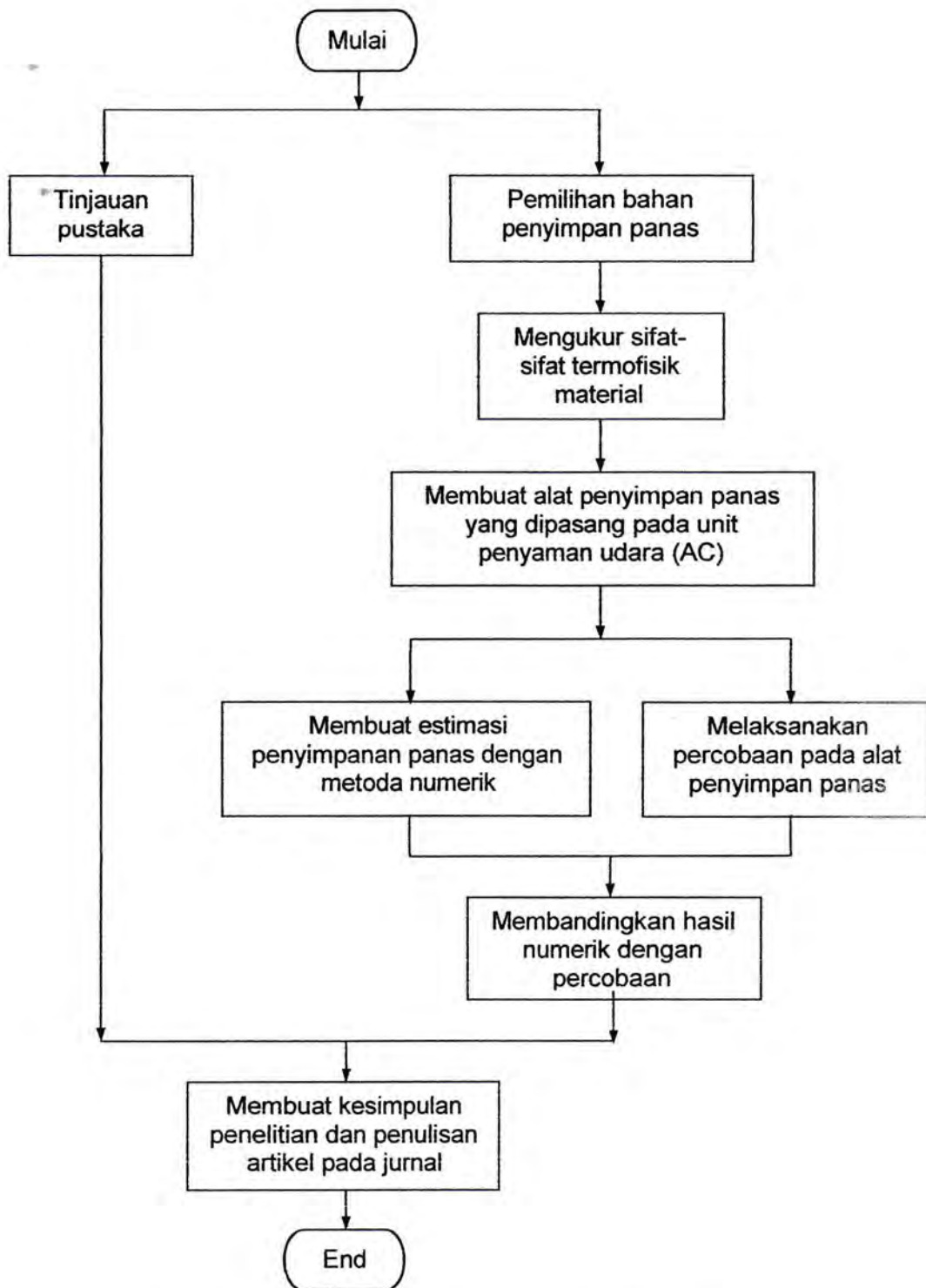
Pada bagian ini diterangkan metode yang digunakan pada penelitian, Gambar 5 berikut ini menunjukkan alur penelitian mulaithaun pertama hingga tahun ketiga (akhir). Penelitian dimulai dengan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelilan tersebut. Tinjauan pustaka meliputi pemilihan artikel-artikel yang terdapat pada jurnal dalam dan luar negeri. Pemilihan bahan penyimpan panas dilakukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dan mempunyai standard Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Internasional (SI) sebagai standard yang digunakan. Bahan-bahan penyimpan panas tersebut terdapat di dalam negeri terutamanya di Pulau Jawa ataupun sekitar daerah Jogjakarta dan Jawa tengah. Bahan-bahan tersebut dapat juga digabungkan dari beberapa bahan dasar seperti campuran parafin dengan damar atau parafin dengan lemak lebah (beeswax). Pengabungan beberapa bahan ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sfat termofisiknya seperti meningkatkan konduktifitas termal bahan, panas jenis spesifik dll. Penemuan bahan-bahan baru yang merupakan bahan komposit untuk bahan penyimpanan panas akan dikaji dalam penelitian ini, dan informasi sifat-sifat termofisik dari bahan penyimpan panas hingga saat ini belum ada secara jelas dan akurat. Penelitian yang melibatkan simulasi numerik juga dilakukan dalam penelitian ini, simulasi ini dilakukan sebelum dilaksanakan eksperimen yang menggunakan sistem pengkondisian udara (AC). Kedua-dua hasil simulasi numerik dan eksperimen akan digunakan sebagai bahan perbandingan dalam penelitian ini yang akan datang dan digunakan sebagai refrensi untuk merencanakan pendingin udara.

Dengan metode penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 5 tersebut diharapkan dapat suatu hasil penelitian yang berguna pada bidang akademis khususnya dan masyarakat umumnya dan aplikasinya dalam industri pendingin udara.

Sebagai pertimbangan dasar dalam pemilihan bahan penyimpan atau penyerap panas dengan menggunakan kriteria-kriteria berikut ini:

a. Kriteria termodinamik

- Temperatur peleburan berada pada range atau julat operasi penyimpan panas
- Panas peleburan atau panas laten tinggi, sehingga perbandingan jumlah bahan penyerap panas dengan panas yang diserap minimal.
- Densitas yang tinggi, agar volume unit sistem penyimpan panas relatif kecil.
- Panas jenis spesifik tinggi, agar proses penyimpanan panas sensible tinggi



Gambar 2: Alur Penelitian Tahun 1 hingga Tahun 3

- Konduktifitas termal tinggi, agar gradien temperatur yang diperlukan dalam proses penyerapan energi panas rendah
- Proses peleburan yang serentak, agar komposisi pada fasa padat dan cair sama.
- Perubahan volume yang kecil selama perubahan fasa, agar ukuran tempat bahan (container) penyimpan panas sederhana dan geometri kontainer dapat terus digunakan.

b. Kriteria kinetik

- Laju pengintian dan pembentukan kristal yang baik.

c. Kriteria Kimia

- Sifat kimia yang stabil
- Tidak mempunyai sifat dekomposisi kimia
- Tidak korosif, agar tidak merusak tempat bahan penyimpan panas atau bahan-bahan lainnya
- Tidak beracun dan tidak mudah terbakar

d. Kriteria ekonomi

- Banyak tersedia di pasaran dan harga relatif murah.

Setelah dilakukan pemilihan bahan penyimpan panas penelitian dilanjutkan dengan pengukuran sifat-sifat termofisik bahan penyimpan panas. Sifat-sifat termofisik terdiri dari,

- a) Masa jenis (densitas), formulasi untuk menentukan masa jenis adalah :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

dimana: ρ = masa jenis
 m = masa material
 V = volume material

- b) Viskositas, formulasi untuk menentukan viskositas adalah :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (4.2)$$

dimana: τ = tegangan geser antara
 μ = viskositas dinamik, dan
 du/dy = gradien kecepatan arah normal

- c) Panas jenis spesifik, formulasi untuk menentukan panas jenis spesifik adalah:

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (4.3)$$

dimana: C_p = panas jenis spesifik

∂h = perubahan entalp, dan

∂T = perbedaan temperatur.

d) Konduktifitas termal, formulasi untuk menentukan konduktivitas termal adalah:

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.4)$$

dimana: q_x = perpindahan panas

A = luas bidang perpindahan panas

$(\partial T/\partial x)$ = gradien temperatur

k = konduktivitas termal

e) Panas peleburan (latent heat), formulasi untuk menentukan panas peleburan adalah:

$$Q_{pc} = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{pc} dt \quad (4.5)$$

dimana: $(dQ/dt)_{pc}$ = aliran panas, dan t = waktu

f) Difusivitas termal,

Difusivitas termal adalah konduktivitas termal dibagi dengan massa jenis dan panas jenis pada tekanan yang konstan. Satuan SI yang digunakan adalah m^2/s . Difusivitas termal dapat disebut juga sebagai ukuran dari inersia termal. Dalam zat dengan difusivitas termal yang tinggi, panas bergerak cepat karena zat tersebut menghantarkan panas relatif terhadap kapasitas panas volumetriknya. Difusivitas termal dirumuskan dengan:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (4.6)$$

dimana:

k adalah konduktivitas termal (W/(m·K))

ρ adalah densitas (kg/m^3)

C_p adalah panas jenis (J/(kg·K))

g) Nomor Prandtl

Nomor Prandtl adalah bilangan tidak berdimensi, merupakan perbandingan antara difusifitas momentum (viskositas kinematik) terhadap difusifitas termal dan didefinisikan dalam formulasi berikut ini:

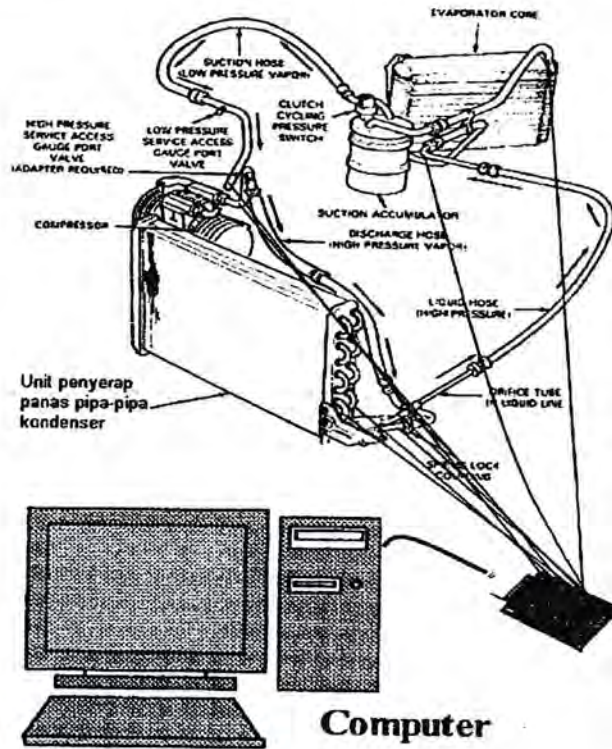
$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (5.7)$$

dimana:

- ν Viskositas kinematik (m^2/s)
- α Difusifitas termal (m^2/s)
- μ Viskositas dinamik ($Pa \cdot s = N \cdot s/m^2$)
- k Konduktivitas termal ($W/(m \cdot K)$)
- C_p Panas jenis spesifik ($J/(kg \cdot K)$)
- ρ Massa jenis (kg/m^3).

Alat-alat yang digunakan pada penelitian sebagian tidak tersedia pada laboratorium Universitas Medan Area (UMA), Differentiar Scanning Calorimetry (DSC), viscometer dan konduktiviti meter tidak tersedia pada Lab tersebut sehingga penelitian tersebut dilakukan di luar UMA. Penelitian dilanjutkan dengan membuat penyelesaian secara numerik, penyelesaian secara numerik dilakukan menggunakan metoda beda hingga (finite different method). Metoda beda hingga ini memadai dan mempunyai ketepatan tinggi dalam menyelesaikan masalah karakteristik perpindahan panas (heat transfer) dan susunan peralatan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pengukuran tekanan dengan memakai manometer, tekanan bahan pendingin (refrigerant) diukur pada sisi masuk dan keluar kompresor. Pengukuran temperatur refrigerant diukur pada sisi masuk dan keluar kompresor, evaporator dan kondenser. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K, dan data acquisition yang dihubungkan ke komputer, data temperature diukur untuk selang waktu 0.5 detik. Pengukuran kecepatan aliran udara pada evaporator digunakan anemometer portabel, dan diukura pada beberapa tempat. Pengukuran pemakaian energi listrik yang dipakai alat pendingin digunakan KWh meter. Peformasi pemakaian energi listrik pada alat pendingin udara (AC) dievaluasi dengan menggunakan bahan penyimpan pas maupun tidak menggunakan bahan penyimpan panas (menggunakan kipas). Karakteristik perpindahan panas pada bagian kompresor, evaporator dan condenser dakan dikaji sehingga akan dihasilkan suatu formulasi yang dapat digunakan untuk merancang alat pengkondisian udara yang menggunakan bahan penyimpan panas (multi komponen material).

Luaran dari penelitian ini akan dihasilkan artikel yang di terbitkan pada jurnal nasional terakreditasi ataupun Internasional. Kemudian alat-alat pengujian akan akan di gunakan pada laboratorium teknik mesin Universitas Medan Area (UMA) sebagai bahan bahan ajar, praktikum dan penelitian selanjutnya.



Gambar 3: Susunan Peralatan Penelitian Tahun 1 hingga Tahun 3

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dan pembahasan sifat-sifat Termofisik Material Penyimpan Panas yang direncanakan untuk penelitian tahap pertama

5.1. Masa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Satuan SI massa jenis adalah kilogram per meter kubik ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Massa jenis berfungsi untuk menentukan kuantiti zat, setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Dan satu zat berapapun massanya berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama.

Rumus untuk menentukan massa jenis adalah

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5.1)$$

dimana:

ρ adalah massa jenis,

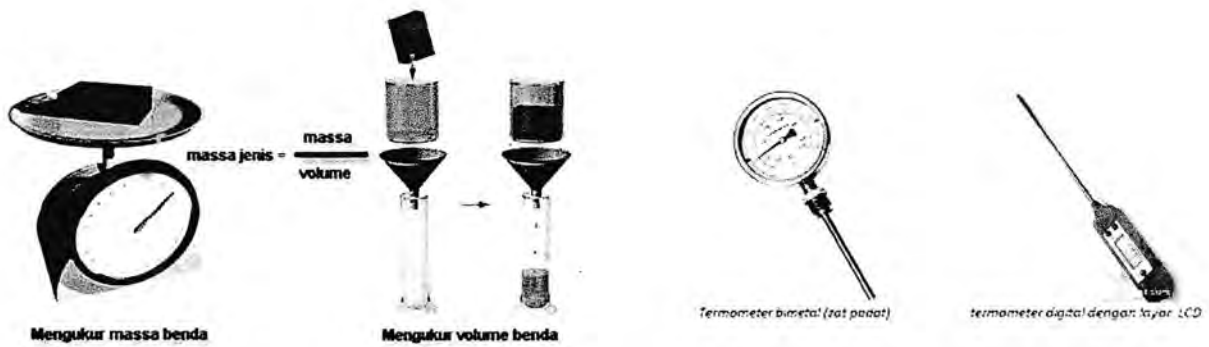
m adalah massa,

V adalah volume.

Satuan massa jenis dalam 'CGS [centi-gram-sekon]' adalah: gram per sentimeter kubik (g/cm^3). $1 \text{ g}/\text{cm}^3 = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Massa jenis air murni adalah $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ atau sama dengan $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Selain karena angkanya yang mudah diingat dan mudah dipakai untuk menghitung, maka massa jenis air dipakai perbandingan untuk rumus ke-2 menghitung massa jenis, atau yang dinamakan 'Massa Jenis Relatif'

Rumus massa jenis relatif = Massa bahan / Massa air yang volumenya sama

Hasil pengukuran masa jenis bahan penyimpan panas adalah:



Gambar 1. Alat Pengukur Masa Jenis

Tabel 1: Masa jenis material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)
25	898.74	35	880.19	45	857.00	55	829.73	65	798.91	75	764.99
26	897.11	36	878.07	46	854.44	56	826.80	66	795.65	76	761.44
27	895.43	37	875.90	47	851.85	57	823.84	67	792.36	77	757.87
28	893.70	38	873.69	48	849.22	58	820.84	68	789.04	78	754.27
29	891.92	39	871.43	49	846.55	59	817.80	69	785.69	79	750.65
30	890.08	40	869.13	50	843.84	60	814.74	70	782.31	80	756.18
31	888.20	41	866.79	51	841.09	61	811.63	71	778.90		
32	886.27	42	864.40	52	838.31	62	808.50	72	775.46		
33	884.29	43	861.98	53	835.49	63	805.34	73	772.00		
34	882.26	44	859.51	54	832.63	64	802.14	74	768.51		

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kerapatan paraffin akan menurun dengan kenaikan temperaturnya. Selain massa jenis, dikenal pula berat jenis. Berat jenis adalah berat benda (w) tiap satuan volume (V). Bila berat jenis dapat dilambangkan dengan S , dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$S = \frac{w}{V} = \frac{mg}{V} \quad (5.2)$$

Atau

$$S = \rho x g \quad (5.3)$$

dimana:

S = berat jenis (N/m^3 atau dyne/cm^3)

w = berat benda (N atau dyne)

V = volume benda (m^3 atau cm^3)

5.2. Konduktivitas Termal

Konduktivitas atau keterhantaran termal (k), adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduksi termal adalah suatu fenomena transport di mana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metoda yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

Konduktivitas termal = laju aliran panas \times jarak / (luas \times perbedaan suhu)

$$k = \frac{Q}{t} \times \frac{L}{Ax\Delta T} \quad (5.4)$$

dimana:

k adalah konduktivitas termal ($W/m.K$)

Q adalah laju aliran panas (W)

L adalah jarak (m)

A adalah luas (m^2)

Δt adalah perbedaan suhu (K)

Besaran ini didefinisikan sebagai panas (Q) yang dihantarkan selama waktu t melau ketebalan L , dengan arah normal ke permukaan dengan luas A yang disebabkan oleh perbedaan suhu ΔT dalam kondisi tunak (steady state) dan jika perpindahan panas hanya tergantung dengan perbedaan suhu tersebut.

Hasil pengukuran konduktivitas atau keterhantaran termal (k) dengan menggunakan alat ukur konduktivitas termal meter seperti terlihat pada gambar 2 ditabelkan pada tabel 2 berikut ini.



Gambar 2. Konduktivitas termal meter

Tabel 2. Konduktivitas termal material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	k (W/m.K)
25	0.2517	35	0.2496	45	0.2462	55	0.2413	65	0.2347	75	0.2264
26	0.2516	36	0.2494	46	0.2458	56	0.2407	66	0.2340	76	0.2255
27	0.2514	37	0.2491	47	0.2453	57	0.2401	67	0.2332	77	0.2246
28	0.2512	38	0.2488	48	0.2449	58	0.2395	68	0.2324	78	0.2236
29	0.2510	39	0.2484	49	0.2444	59	0.2388	69	0.2316	79	0.2226
30	0.2508	40	0.2481	50	0.2439	60	0.2382	70	0.2308	80	0.2216
31	0.2506	41	0.2477	51	0.2434	61	0.2375	71	0.2300		
32	0.2504	42	0.2474	52	0.2429	62	0.2369	72	0.2291		
33	0.2502	43	0.2470	53	0.2424	63	0.2362	73	0.2282		
34	0.2499	44	0.2466	54	0.2418	64	0.2354	74	0.2273		

5.3. Koefisien Ekspansi Termal (β)

Ekspansi termal adalah kecenderungan materi untuk perubahan volume suara dalam menanggapi perubahan suhu. Ketika suatu zat dipanaskan, partikel-partikel yang mulai bergerak lebih aktif dan dengan demikian biasanya mempertahankan pemisahan rata-rata yang lebih besar. Material yang kontrak denganmeningkatnya suhu jarang, efek ini terbatas dalam ukuran, dan hanya terjadi dalam rentang

suhuterbatas (lihat contoh di bawah). Tingkat ekspansi dibagi dengan perubahan suhu disebut Koefisien ekspansi termal material dan umumnya bervariasi dengan suhu.

Koefisien ekspansi termal adalah bertambahnya volume relatif (terhadap volume awal) akibat pertambahan temperatur pada tekanan tetap:

$$\beta = \frac{V - V_0}{V} = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (5.5)$$

dimana:

β adalah Koefisien ekspansi termal

V adalah volume setelah perubahan temperatur

V_0 adalah volume sebelum perubahan temperatur

∂V adalah Perubahan volume pada tekanan konstan

∂T adalah Perubahan temperatur

Hasil perhitungan koefisien ekspansi termal dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Koefisien ekspansi termal material penyimpan panas

T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)	T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)	T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)	T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)	T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)	T (°C)	$\beta \times 10^6$ (K ⁻¹)
25	1749.83	35	2350.89	45	2921.80	55	3476.40	65	4025.63	75	4579.01
26	1811.78	36	2409.08	46	2977.80	56	3531.40	66	4080.63	76	4634.92
27	1873.27	37	2466.98	47	3033.65	57	3586.36	67	4135.69	77	4690.97
28	1934.32	38	2524.62	48	3089.36	58	3641.29	68	4190.80	78	4747.17
29	1994.94	39	2582.01	49	3144.95	59	3696.19	69	4245.98	79	4803.53
30	2055.17	40	2639.16	50	3200.41	60	3751.07	70	4301.24	80	4860.05
31	2115.00	41	2696.08	51	3255.78	61	3805.96	71	4356.58		
32	2174.48	42	2752.80	52	3311.05	62	3860.85	72	4412.02		
33	2233.61	43	2809.32	53	3366.24	63	3915.75	73	4467.57		
34	2292.40	44	2865.65	54	3421.35	64	3970.67	74	4523.23		

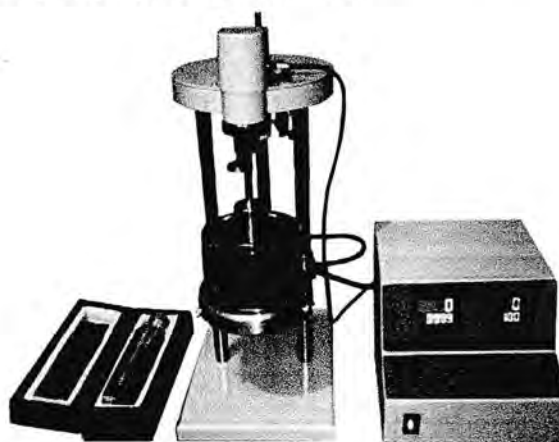
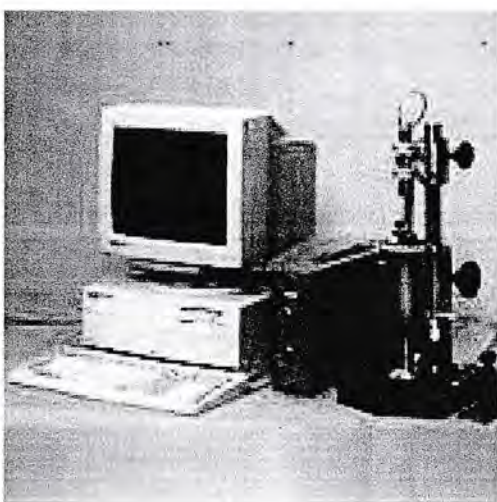
5.4. Viskositas

Viskositas atau kekentalan merupakan pengukuran dari ketahanan fluida yang diubah baik dengan tekanan maupun tegangan. Pada masalah sehari-hari (dan hanya untuk fluida), viskositas adalah "Ketebalan" atau "pergesekan internal". Oleh karena itu, air yang tipis, memiliki viskositas lebih rendah, sedangkan madu yang "tebal", memiliki viskositas yang lebih tinggi. Sederhananya, semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut. Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir dan mungkin dapat dipikirkan sebagai pengukuran dari pergeseran fluida. Sebagai contoh, viskositas yang tinggi dari magma akan menciptakan statovolcano yang tinggi dan curam, karena tidak dapat mengalir terlalu jauh sebelum mendingin, sedangkan viskositas yang lebih rendah dari lava akan menciptakan volcano yang rendah dan lebar. Seluruh fluida (kecuali super fluida) memiliki

ketahanan dari tekanan dan oleh karena itu disebut kental, tetapi fluida yang tidak memiliki ketahanan tekanan dan tegangan disebut fluida ideal.

Studi dari bahan yang mengalir disebut Rheologi, yang termasuk viskositas dan konsep yang berkaitan, alat pengukur viskositas ditunjukkan pada gambar. Viskositas adalah suatu cara untuk menyatakan berapa daya tahan dari aliran yang diberikan oleh suatu cairan. Kebanyakan viscometer mengukur kecepatan dari suatu cairan mengalir melalui pipa gelas (gelas kapiler), bila cairan itu mengalir cepat maka berarti viskositas dari cairan itu rendah (misalnya air). Dan bila cairan itu mengalir lambat, maka dikatakan cairan itu viskositas tinggi. Viskositas dapat diukur dengan mengukur laju aliran cairan yang melalui tabung silinder. Cara ini merupakan salah satu cara yang paling mudah dan dapat digunakan baik untuk cairan maupun gas. Menurut poiseulle, jumlah volume cairan yang mengalir melalui pipa per satuan waktu. Macam-macam viskositas menurut Lewis (1987):

1. Viskositas dinamik, yaitu rasio antara shear, stress, dan shear rate. Viskositas dinamik disebut juga koefisien viskositas.
2. Viskositas kinematik, yaitu viskositas dinamik dibagi dengan densitasnya. Viskositas ini dinyatakan dalam satuan stoke (St) pada cgs dan m^2/s pada SI.
3. Viskositas relatif dan spesifik, pada pengukuran viskositas suatu emulsi atau suspensi biasanya dilakukan dengan membandingkannya dengan larutan murni. Untuk mengukur besarnya viskositas menggunakan alat viskometer. Berbagai tipe viskometer dikelompokkan menurut prinsip kerjanya (Bourne,1982):



Gambar 3. Alat Pengukur Viskositas (Viskometer)

Hasil pengukuran viskositas kinematik bahan penyipan panas yang dilakukan pada selang temperature tertentu disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Viskositas Material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)
25	-	35	-	45	125.47	55	38.14	65	18.06	75	10.37
26	-	36	-	46	106.97	56	34.94	66	16.97	76	9.88
27	-	37	-	47	92.41	57	32.12	67	15.97	77	9.42
28	-	38	-	48	80.71	58	29.62	68	15.06	78	9.00
29	-	39	641.78	49	71.14	59	27.40	69	14.22	79	8.60
30	-	40	413.84	50	63.19	60	25.42	70	13.45	80	8.23
31	-	41	298.00	51	56.52	61	23.63	71	12.73		
32	-	42	228.39	52	50.85	62	22.03	72	12.07		
33	-	43	182.25	53	45.99	63	20.58	73	11.46		
34	-	44	149.63	54	41.80	64	19.26	74	10.90		

5.5 . Panas Spesifik

Panas, bahang, atau kalor adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Satuan SI untuk panas adalah joule. Panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya. Energi dalam ini berbanding lurus terhadap suhu benda. Ketika dua benda dengan suhu berbeda bergandengan, mereka akan bertukar energi internal sampai suhu kedua benda tersebut seimbang. Jumlah energi yang disalurkan adalah jumlah energi yang tertukar. Kesalahan umum untuk menyamakan panas dan energi internal. Perbedaannya adalah panas dihubungkan dengan pertukaran energi internal dan kerja yang dilakukan oleh sistem. Mengerti perbedaan ini dibutuhkan untuk mengerti hukum termodinamika pertama.

Radiasi inframerah sering dihubungkan dengan panas, karena objek dalam suhu ruangan atau di atasnya akan memancarkan energi panas ke sekitarnya. Ketika suatu benda melepas panas ke sekitarnya, $Q < 0$. Ketika benda menyerap panas dari sekitarnya, $Q > 0$. Jumlah panas, kecepatan penyaluran panas, dan flux panas semua dinotasikan dengan perbedaan permutasi huruf Q . Mereka biasanya diganti dalam konteks yang berbeda.

Jumlah panas dinotasikan sebagai Q , dan diukur dalam joule dalam satuan SI dinyatakan dalam formulasi berikut ini.

$$Q = m c \Delta t \quad (5.6)$$

Dimana:

Q adalah banyaknya kalor (jumlah panas) dalam joule

m adalah massa benda dalam kg

c adalah kalor jenis dalam joule/kg °C, dan

Δt adalah besarnya perubahan suhu dalam °C.

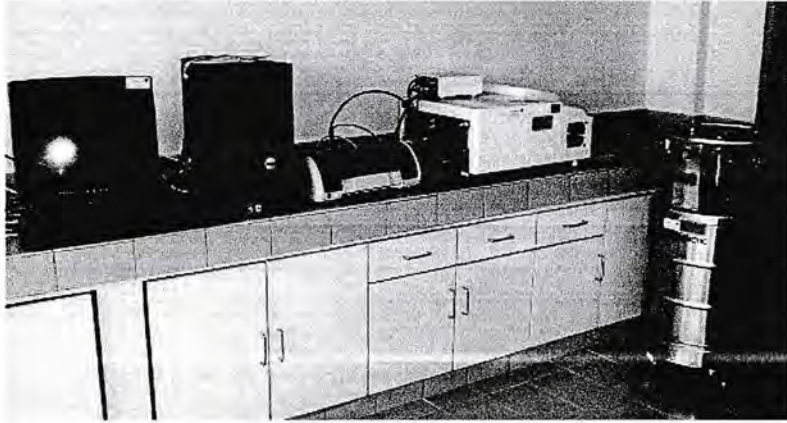
Kecepatan penyaluran panas, atau penyaluran panas per unit, ditandai

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} \quad (5.7)$$

untuk menandakan pergantian per satuan waktu. Dalam Unicode, adalah $Q\dot{\square}$, meskipun ada kemungkinan tidak dapat ditampilkan secara benar di seluruh browser. Diukur dalam unit watt. Flux panas didefinisikan sebagai jumlah panas per satuan waktu per luas area, dan dinotasikan q , dan diukur dalam watt per meter². Juga biasanya dinotasikan sebagai \dot{Q} atau \dot{q} .

Sifat-sifat air yang memberikan definisi asal dari kalori adalah banyaknya perubahan temperatur yang dialami air waktu mengambil atau melepaskan sejumlah panas. Istilah umum untuk sifat ini disebut kapasitas panas yang didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah temperatur suatu benda sebesar 1 °C. Kapasitas panas bersifat ekstensif yang berarti bahwa jumlahnya tergantung dari besar sampel. Misalnya untuk menaikkan suhu 1 gr air sebesar 1 °C diperlukan 4,18 J (1 kal), tapi untuk menaikkan suhu 100 gr air sebesar 1 °C diperlukan energi 100 kali lebih banyak yaitu 418 J. Sehingga 1 gr sampel mempunyai kapasitas panas sebesar 4,18 J/°C sedangkan 100 gr sampel 418 J/°C. Sifat intensif berhubungan dengan kapasitas panas adalah kalor jenis (panas spesifik) yang didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gr zat sebesar 1 °C. Untuk air, panas spesifiknya adalah 4,18 J/gr°C. Kebanyakan zat mempunyai panas spesifik yang lebih kecil dari air. Misalnya besi, panas spesifiknya hanya 0,452 J/g°C. Berarti lebih sedikit panas diperlukan untuk memanaskan besi 1 gr sebesar 1 °C daripada air atau juga dapat diartikan bahwa jumlah panas yang akan menaikkan suhu 1 gr besi lebih besar dari pada menaikkan suhu 1 gr air. Besarnya panas spesifik untuk air disebabkan karena adanya sedikit pengaruh dari laut terhadap cuaca. Pada musim dingin air laut lebih lambat menjadi dingin dari daratan sehingga udara yang bergerak dari laut ke darat lebih panas daripada udara dari darat ke laut. Demikian juga dalam musim panas, air laut lebih lambat menjadi panas daripada daratan. Alat ukur untuk menentukan panas jenis spesifik adalah

Differential Scanning Calorimetry (DSC) seperti terlihat pada gambar 4. Hasil pengukuran panas spesifik material penyimpan panas dapat dilihat pada tabel 5.



Gambar 4. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Tabel 5. Panas jenis spesifik material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	C_P (kJ/kg.K)
25	2.4478	35	2.4921	45	2.5355	55	2.5789	65	2.6230	75	2.6684
26	2.4523	36	2.4965	46	2.5399	56	2.5833	66	2.6275	76	2.6730
27	2.4568	37	2.5009	47	2.5442	57	2.5877	67	2.6320	77	2.6776
28	2.4613	38	2.5052	48	2.5485	58	2.5921	68	2.6365	78	2.6823
29	2.4657	39	2.5095	49	2.5529	59	2.5964	69	2.6410	79	2.6870
30	2.4702	40	2.5139	50	2.5572	60	2.6008	70	2.6455	80	2.6917
31	2.4746	41	2.5182	51	2.5615	61	2.6053	71	2.6500		
32	2.4790	42	2.5226	52	2.5659	62	2.6097	72	2.6546		
33	2.4834	43	2.5269	53	2.5702	63	2.6141	73	2.6592		
34	2.4878	44	2.5312	54	2.5746	64	2.6186	74	2.6638		

5.6 Difusivitas termal

Difusivitas termal adalah konduktivitas termal dibagi dengan massa jenis dan panas jenis pada tekanan yang konstan. Satuan SI yang digunakan adalah m^2/s . Difusivitas termal dapat disebut juga sebagai ukuran dari inersia termal. Dalam zat dengan difusivitas termal yang tinggi, panas bergerak cepat karena zat tersebut menghantarkan panas relatif terhadap kapasitas panas volumetriknya.

Difusivitas termal dirumuskan dengan:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (5.8)$$

dimana:

k adalah konduktivitas termal (W/(m·K))

ρ adalah densitas (kg/m³)

C_p adalah panas jenis (J/(kg·K))

Difusifitas termal material penyimpanan panas hasil analisis dapat dilihat pada table 6 berikut ini:

Tabel 6. Difusivitas termal material penyimpanan panas

T (°C)	α (kJ/kg.K)	T (°C)	α (kJ/kg.K)	T (°C)	α (kJ/kg.K)	T (°C)	α (kJ/kg.K)	T (°C)	α (kJ/kg.K)	T (°C)	α (kJ/kg.K)
25	0.11441	35	0.11381	45	0.11330	55	0.11275	65	0.11200	75	0.11093
26	0.11434	36	0.11375	46	0.11325	56	0.11269	66	0.11191	76	0.11080
27	0.11428	37	0.11370	47	0.11320	57	0.11262	67	0.11182	77	0.11066
28	0.11421	38	0.11365	48	0.11315	58	0.11255	68	0.11172	78	0.11052
29	0.11415	39	0.11360	49	0.11310	59	0.11248	69	0.11162	79	0.11037
30	0.11409	40	0.11355	50	0.11304	60	0.11241	70	0.11152	80	0.11022
31	0.11403	41	0.11350	51	0.11299	61	0.11233	71	0.11141		
32	0.11397	42	0.11345	52	0.11293	62	0.11226	72	0.11129		
33	0.11391	43	0.11340	53	0.11287	63	0.11218	73	0.11118		
34	0.11386	44	0.11335	54	0.11281	64	0.11209	74	0.11105		

5.6 Nomor Prandtl

Nomor Prandtl adalah bilangan tidak berdimensi, merupakan perbandingan antara difusifitas momentum (viskositas kinematik) terhadap difusifitas termal dan didefinisikan dalam formulasi berikut ini:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (5.9)$$

dimana:

ν Viskositas kinematik (m²/s)

α Difusifitas termal (m²/s)

μ Viskositas dinamik (Pa s = N s/m²)

k Konduktivitas termal (W/(m K))

C_p Panas jenis spesifik (J/(kg K))

ρ Massa jenis (kg/m³).

Nomor Prandl material penyimpanan panas hasil analisis dapat dilihat pada table 7 berikut ini:

Tabel 7. Nomor Prandl material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)	T ($^{\circ}\text{C}$)	α (kJ/kg.K)
25	-	35	-	45	1107.41	55	338.29	65	161.27	75	93.48
26	-	36	-	46	944.52	56	310.08	66	151.65	76	89.17
27	-	37	-	47	816.33	57	285.22	67	142.85	77	85.15
28	-	38	-	48	713.29	58	263.21	68	134.79	78	81.41
29	-	39	5649.39	49	628.99	59	243.61	69	127.39	79	77.91
30	-	40	3644.49	50	559.03	60	226.10	70	120.57	80	74.63
31	-	41	2625.48	51	500.23	61	210.38	71	114.29		
32	-	42	2013.07	52	450.29	62	196.22	72	108.48		
33	-	43	1607.10	53	407.48	63	183.42	73	103.10		
34	-	44	1319.99	54	370.49	64	171.82	74	98.11		

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan Penelitian

Kesimpulan hasil penelitian tahap pertama penelitian adalah sebagai berikut:

1. Material penyimpan panas gabungan parafin, damar, lemak hewan, merupakan multi komponen material, hasil penelitian (Pengukuran) material tersebut memiliki sifat-sifat termofisik (panas laten peleburan, konduktivitas termal, temperatur lebur) dibanding dengan material murni (pure material).
2. Material multi komponen mempunyai satu interval temperatur peleburan ($T_m \pm \Delta T_m$), tidak berlangsung pada satu temperatur lebur, ini dibuktikan dari hasil pengukuran Diferensial Scanning Calirimetry (DSC).
3. Hasil Pengukuran sifat-sifat termofisik material penyimpan panas dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Sifat-sifat termofisik material penyimpan panas

T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	$\beta \times 10^6$ (K^{-1})	$\mu \times 10^6$ ($\text{N.s}/\text{m}^2$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	C_p ($\text{kJ}/\text{kg.K}$)	k ($\text{W}/\text{m.K}$)	$\alpha \times 10^6$ (m^2/s)	Pr
25	898.74	1749.83	-	-	2.4478	0.2517	0.11441	-
26	897.11	1811.78	-	-	2.4523	0.2516	0.11434	-
27	895.43	1873.27	-	-	2.4568	0.2514	0.11428	-
28	893.70	1934.32	-	-	2.4613	0.2512	0.11421	-
29	891.92	1994.94	-	-	2.4657	0.2510	0.11415	-
30	890.08	2055.17	-	-	2.4702	0.2508	0.11409	-
31	888.20	2115.00	-	-	2.4746	0.2506	0.11403	-
32	886.27	2174.48	-	-	2.4790	0.2504	0.11397	-
33	884.29	2233.61	-	-	2.4834	0.2502	0.11391	-
34	882.26	2292.40	-	-	2.4878	0.2499	0.11386	-
35	880.19	2350.89	-	-	2.4921	0.2496	0.11381	-
36	878.07	2409.08	-	-	2.4965	0.2494	0.11375	-
37	875.90	2466.98	-	-	2.5009	0.2491	0.11370	-
38	873.69	2524.62	-	-	2.5052	0.2488	0.11365	-
39	871.43	2582.01	559268.8	641.78	2.5095	0.2484	0.11360	5649.39
40	869.13	2639.16	359681.2	413.84	2.5139	0.2481	0.11355	3644.49
41	866.79	2696.08	258301.4	298.00	2.5182	0.2477	0.11350	2625.48
42	864.40	2752.80	197420.3	228.39	2.5226	0.2474	0.11345	2013.07
43	861.98	2809.32	157095.1	182.25	2.5269	0.2470	0.11340	1607.10
44	859.51	2865.65	128603.8	149.63	2.5312	0.2466	0.11335	1319.99
45	857.00	2921.80	107529.7	125.47	2.5355	0.2462	0.11330	1107.41
46	854.44	2977.80	91399.1	106.97	2.5399	0.2458	0.11325	944.52
47	851.85	3033.65	78719.6	92.41	2.5442	0.2453	0.11320	816.33

48	849.22	3089.36	68538.8	80.71	2.5485	0.2449	0.11315	713.29
49	846.55	3144.95	60220.7	71.14	2.5529	0.2444	0.11310	628.99
50	843.84	3200.41	53325.1	63.19	2.5572	0.2439	0.11304	559.03
51	841.09	3255.78	47537.8	56.52	2.5615	0.2434	0.11299	500.23
52	838.31	3311.05	42628.9	50.85	2.5659	0.2429	0.11293	450.29
53	835.49	3366.24	38426.7	45.99	2.5702	0.2424	0.11287	407.48
54	832.63	3421.35	34800.0	41.80	2.5746	0.2418	0.11281	370.49
55	829.73	3476.40	31647.6	38.14	2.5789	0.2413	0.11275	338.29
56	826.80	3531.40	28889.8	34.94	2.5833	0.2407	0.11269	310.08
57	823.84	3586.36	26463.2	32.12	2.5877	0.2401	0.11262	285.22
58	820.84	3641.29	24316.9	29.62	2.5921	0.2395	0.11255	263.21
59	817.80	3696.19	22409.4	27.40	2.5964	0.2388	0.11248	243.61
60	814.74	3751.07	20706.9	25.42	2.6008	0.2382	0.11241	226.10
61	811.63	3805.96	19181.1	23.63	2.6053	0.2375	0.11233	210.38
62	808.50	3860.85	17808.8	22.03	2.6097	0.2369	0.11226	196.22
63	805.34	3915.75	16570.3	20.58	2.6141	0.2362	0.11218	183.42
64	802.14	3970.67	15448.9	19.26	2.6186	0.2354	0.11209	171.82
65	798.91	4025.63	14430.7	18.06	2.6230	0.2347	0.11200	161.27
66	795.65	4080.63	13503.5	16.97	2.6275	0.2340	0.11191	151.65
67	792.36	4135.69	12657.1	15.97	2.6320	0.2332	0.11182	142.85
68	789.04	4190.80	11882.5	15.06	2.6365	0.2324	0.11172	134.79
69	785.69	4245.98	11172.0	14.22	2.6410	0.2316	0.11162	127.39
70	782.31	4301.24	10518.9	13.45	2.6455	0.2308	0.11152	120.57
71	778.90	4356.58	9917.4	12.73	2.6500	0.2300	0.11141	114.29
72	775.46	4412.02	9362.2	12.07	2.6546	0.2291	0.11129	108.48
73	772.00	4467.57	8849.0	11.46	2.6592	0.2282	0.11118	103.10
74	768.51	4523.23	8373.6	10.90	2.6638	0.2273	0.11105	98.11
75	764.99	4579.01	7932.6	10.37	2.6684	0.2264	0.11093	93.48
76	761.44	4634.92	7522.8	9.88	2.6730	0.2255	0.11080	89.17
77	757.87	4690.97	7141.5	9.42	2.6776	0.2246	0.11066	85.15
78	754.27	4747.17	6786.2	9.00	2.6823	0.2236	0.11052	81.41
79	750.65	4803.53	6454.6	8.60	2.6870	0.2226	0.11037	77.91
80	756.18	4860.05	6144.8	8.23	2.6917	0.2216	0.11022	74.63

6.2. Saran

Saran dari Peneliti adalah penelitian telah dilaksanakan, publikasi pada seminar Nasional dan Internasional telah dilaksanakan, penulis pada saat ini sedang mempersiapkan penulisan untuk jurnal Nasional terakreditasi dan Jurnal Internasional. Diharapkan Peneliti agar penelitian tahap kedua dapat dilaksanakan untuk pengaplikasian penelitian tahap pertama.



VII. RENCANA PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA (TAHAP II)

Rencana penelitian tahap kedua adalah lanjutan penelitian tahap pertama, tujuan, metode dan jadwal akan dilaksanakan sebagai berikut:

7.1 Tujuan Penelitian Tahap Kedua

Penelitian tahun ke dua ini bertujuan untuk mendapatkan formulasi matematik karakteristik penggunaan material penyimpan panas (multi komponen material) pada sistem pendinginan udara (Air Conditioning/AC).

7.2. Metode Penelitian Tahap Kedua

Penelitian tahap kedua dimulai dengan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Tinjauan pustaka meliputi pemilihan artikel-artikel yang terdapat pada jurnal dalam dan luar negeri, dengan pertimbangan penelitian sebelumnya (Tahap pertama). Penelitian dimulai dengan merancang bangun peralatan (Alat penukar kalor) yang akan digunakan pada sistem pendingin udara atau Air conditioning (AC). Peralatan AC yang digunakan pada penelitian adalah peralatan yang banyak digunakan pada industri dan rumah tangga, artinya banyak dijual di pasaran. Pemilihan peralatan AC tersebut dikarenakan agar aplikasi penggunaan material penyimpan panas secara luas dan umum.

Jadwal kegiatan penelitian tahap kedua dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini:

Tabel 9. Jadwal kegiatan penelitian tahap kedua

Kegiatan	Bulan tahun kedua									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Persiapan	■									
Tinjauan pustaka		■								
Merancang model simulasi numerik			■	■	■					
Pelaksanaan simulasi numeric					■	■				
Analisis hasil simulasi numeric							■	■		
Menulis artikel,laporan penelitian dan mengirim untuk penerbitan									■	■

DAFTAR PUSTAKA

- Johannes P. Kotzé, Theodor W. von Backström and Paul J. Erens, "High Temperature Thermal Energy Storage Utilizing Metallic Phase Change Materials and Metallic Heat Transfer Fluids". *Journal Sol. Energy Eng.* 135(3), 035001 (May 14, 2013) (6 pages)
- Ahmed H A Dabwan, Satoshi Kaneco, Suditama Sulaiman, Hideyuki Katsumata, Tohru Suzuki, Kiyoyuki , Egusa, Kiyohisa Ohta, "*Bimetallic System for Treatment Persistent Organic Compounds from Different Wastes*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 302. (2011)
- ASTM, (1991), "*Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Calorimetry*", ASTM Designation Engineering: 1260-1290.
- Sharma, A., Won, L. D., Buddhi, D., and Park, J. U. (2005), "*Numerical heat transfer studies of the fatty acids for different heat exchanger materials on the performance of a latent heat storage system*", *Renewable Energy*, 12: 1-9.
- Shiina, Y., and Inagaki, T. (2004), "*Study on efficiency of effective thermal conductivities on melting characteristic on latent heat storage capsule*", *International Journal Heat and Mass Transfer*, 48: 373-383.
- Shin, M., Kim, H., Jang, D., Lee, S., Lee, Y., Yoon, H. (2004), "*Numerical and experimental study on design of a stratified thermal storage system*", *Applied Thermal Engineering*, 24:17-27.
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental Analysis of Material and Heat Transfer Characteristic of A Low Temperature Thermal Storage*", The International Conference on Advantages in Strategic Technologies (ICAST 2003), The Faculty of Engineering Universiti Kebangsaan Malaysia, NO. 2 (2003): 1045-1048.
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental and Numerical Analysis Heat Transfer Characteristic of Tubes Arrangement immerse in The Thermal Energy Storage Material*". *Sudan Engineering Society Journal* (2006).
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental and Numerical Thermal Performance evaluation of A Heat Exchanger Having Phase Change Material (PCM) for Thermal Energy Storage*", The 5th International Conference on Numerical Analysis in Engineering (NAE 2007).
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Heat Transfer Study in the Low Temperature Thermal Energy Storage Material (Multi-component Material) Between Tubes Array During Melting*", *Jurnal Mekanikal*, Faculty of Engineering of Universiti Teknologi Malaysia, June 19 (2005): 71-83.

- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Pengujian Sifat-sifat Termofisik dari Beberapa Bahan Penyimpan Tenaga Panas*", *Dinamika, Majalah Ilmiah Pendidikan, Agama, Sains, Teknologi dan Seni*, No. 24 (2005), Indonesia: 1-15
- Suditama, L. Zulkarnain, Ahmed Dabwan, R. Rosliza, "*Measurement of Paraffin Wax Properties as Thermal Energy Storage Material*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 239 – 244. (2011)
- Suditama, R. Rosliza, H. A. Rahman, "*Numerical and Experimental Heat Transfer Study of Paraffin Wax Material with Inline Heated Tube Arrangement*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 226 – 23 (2011)
- Zhongliang, L., Sun, X. and Ma, C. (2005), "*Experimental investigation on the characteristic of melting processes of stearic acid in an annulus and its thermal conductivity enhancement by fins*", *Energy Conversion and Management*, 46: 959-969.
- Ahmed H A Dabwan, Satoshi Kaneco, Suditama Sulaiman, Hideyuki Katsumata, Tohru Suzuki, Kiyoyuki , Egusa, Kiyohisa Ohta, "*Bimetallic System for Treatment Persistent Organic Compounds from Different Wastes*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 302. (2011)
- ASTM, (1991), "*Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Calorimetry*", ASTM Designation Engineering: 1260-1290.
- Sharma, A., Won, L. D., Buddhi, D., and Park, J. U. (2005), "*Numerical heat transfer studies of the fatty acids for different heat exchanger materials on the performance of a latent heat storage system*", *Renewable Energy*, 12: 1-9.
- Shiina, Y., and Inagaki, T. (2004), "*Study on efficiency of effective thermal conductivities on melting characteristic on latent heat storage capsule*", *International Journal Heat and Mass Transfer*, 48: 373-383.
- Shin, M., Kim, H., Jang, D., Lee, S., Lee, Y., Yoon, H. (2004), "*Numerical and experimental study on design of a stratified thermal storage system*", *Applied Thermal Engineering*, 24:17-27.
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental Analysis of Material and Heat Transfer Characteristic of A Low Temperature Thermal Storage*", The International Conference on Advantages in Strategic Technologies (ICAST 2003), The Faculty of Engineering Universiti Kebangsaan Malaysia, NO. 2 (2003): 1045-1048.

- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental and Numerical Analysis Heat Transfer Characteristic of Tubes Arrangement immerse in The Thermal Energy Storage Material*". Sudan Engineering Society Journal (2006).
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Experimental and Numerical Thermal Performance evaluation of A Heat Exchanger Having Phase Change Material (PCM) for Thermal Energy Storage*", The 5th International Conference on Numerical Analysis in Engineering (NAE 2007).
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Heat Transfer Study in the Low Temperature Thermal Energy Storage Material (Multi-component Material) Between Tubes Array During Melting*", Jurnal Mekanikal, Faculty of Engineering of Universiti Teknologi Malaysia, June 19 (2005): 71-83.
- Suditama, Ahmad, M.M.H.M. Sulaiman, S. and Adam, N., "*Pengujian Sifat-sifat Termofisik dari Beberapa Bahan Penyimpan Tenaga Panas*", Dinamika, Majalah Ilmiah Pendidikan, Agama, Sains, Teknologi dan Seni, No. 24 (2005), Indonesia: 1-15
- Suditama, L. Zulkarnain, Ahmed Dabwan, R. Rosliza, "*Measurement of Paraffin Wax Properties as Thermal Energy Storage Material*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 239 – 244. (2011)
- Suditama, R. Rosliza, H. A. Rahman, "*Numerical and Experimental Heat Transfer Study of Paraffin Wax Material with Inline Heated Tube Arrangement*", The 1st International Conference on Chemical Innovation (ICCI 2011), May 2011 (2011), TATi University College (TATiUC): 226 – 23 (2011)
- Zhongliang, L., Sun, X. and Ma, C. (2005), "*Experimental investigation on the characteristic of melting processes of stearic acid in an annulus and its thermal conductivity enhancement by fins*", Energy Conversion and Management, 46: 959-969.

Heat Transfer Characteristic Analysis on A Bundle Tube Arrangement With Hot Air Flow Inside and Immersed in Thermal Energy Storage Material (Paraffin Wax)

Suditama¹⁾, Amru Siregar¹⁾

¹⁾ *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area, Medan
Jl. Kolam, NO. 1 Medan Estate, Sumatera Utara (20223) Telp. (061)7366878
Fax.(061)7368012
suditama@yahoo.com*

Abstract: A heat exchanger designer was needed characteristic analysis of heat transfer for design and manufactures for successes and well. In this study deal heat transfer characteristic analysis on a bundle pipes with hot air flow inside pipes and immersed on thermal energy storage material (Paraffin Wax), the thermal properties paraffin wax has been measured before and well known. The flow rate thermal energy storage and characteristic were evaluated by numeric and experiment in this study. The analysis results were important information to helping design and manufacture thermal energy storage.

Keywords: Heat, Characteristic, Thermal properties, material, thermal storage.

1. INTRODUCTION

It has been estimated that if the present rate of population growth and exploitation of readily available stored energy in fossil fuels continues, then the fossil fuel may depleted completely in a century or so[1]. As a result, scientists all over the world are in search of new and renewable energy sources. However, developing efficient and inexpensive energy storage devices is an important field as developing new sources of energy.

The global energy flow and storage of solar energy as a renewable energy source is shown in Fig. 1. The figure explains why it is important to store thermal energy. From the figure it shows that the terrestrial energy is divided into terrestrial absorption, and photosynthesis from the solar radiation and plus the position of the moon. The solar energy radiation converted to terrestrial energy is 50%, photosynthesis 0.023%, atmospheric absorption 20%, and $\pm 30\%$ of direct reflection. The terrestrial absorption (50 % of solar radiation) is the important thermal energy for storage.

Adriano S. present paper describes the analysis of the melting process in a single vertical shell-and-tube latent heat thermal energy storage (LHTES), unit and it is directed at understanding the thermal performance of the system.

The study is realized using a computational fluid-dynamic (CFD) model that takes into account of the phase-change phenomenon by means of the enthalpy method. Fluid flow is fully resolved in the liquid phase change material (PCM) in order to elucidate the role of natural convection.

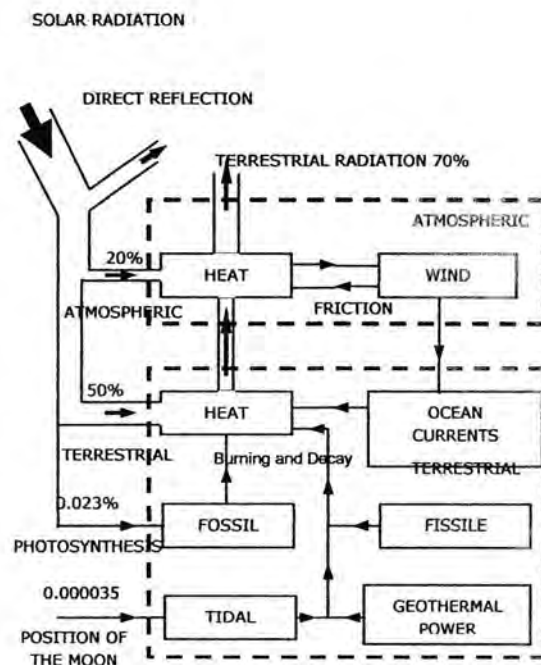


Fig. 1 Global energy flow and storage

The unsteady evolution of the melting front and the velocity and temperature fields is detailed. Temperature profiles are analyzed and compared with experimental data available in the literature. Other relevant quantities are also monitored, including energy stored and heat flux exchanged between PCM and HTF. The results demonstrate that natural

convection within PCM and inlet HTF temperature significantly affects the phase-change process [2].

Energy storage has only recently been developed to a point where it can have a significant impact on modern technology. Energy storage can be in the form of mechanical, chemical, biochemical, magnetically and thermal energy storage. It can contribute significantly in meeting society's need for more efficient, environmentally benign energy use in building for heating and cooling, aerospace power, and utility applications. The use of energy storage often result in such significant benefit such as reduction of energy cost, reduction of energy consumption, improved indoor air quality, increase flexibility of operation, and reduced initial and maintenance cost [3].

Energy storage also has an enormous potential to increase the effectiveness of energy conversion equipment used and for facilitating large-scale fuel substitution in the world's economy. Energy storage not only plays an important role in conserving the energy but also improve the performance and reliability of a wide range of energy system. Energy storage leads to saving of premium fuels and makes the system more cost effective by reducing the wastage of energy. In most system, there is a mismatch between the energy supply and energy demand. The energy storage can overcome this imbalance and therefore help in saving of capital cost.

Energy storage becomes more important where the energy source is intermittent such as solar energy. The use of intermittent energy source is likely to grow, if more and more solar energy is use for domestic purposes. If no storage is use in solar energy system then the major part of the energy demand will met by the back up or auxiliary energy and therefore so called annual solar load fraction will be very low. In case of solar energy, both short and long term energy storage can used and this can adjust the phase difference between solar energy supply and energy demand and can match seasonal demand to the solar availability respectively [4].

Thermal energy storage is a temporary storage of high or low temperature energy for later usage. Example of thermal energy storage is the storage of solar energy for overnight heating. This is because solar energy, unlike fossil fuels, is not available at all times. Even cooling loads, which nearly coincide with maximum levels of solar radiation, often are present after sunset.

Thermal energy storage can be important means of offsetting the mismatch between thermal energy availability and demand.

Thermal energy may be stored by elevating or lowering the temperature of a substance (i.e. altering its sensible heat), by changing the phase of substance (i.e. altering its latent heat, or by a combination of the two. Both thermal energy storage forms are expect to see extended applications as new energy technologies are developed.

For the energy consumer, the value of energy is in its contribution to the production of goods and services or to personal comfort and convenience. Although discussion abound about the merits of alternative national energy production and consumption pattern in the future, it is likely that energy decision, in general, will continue to make based on evaluation of the cost savings in the production or use of energy, unless legislative or regulatory constraints are imposes.

Nature has been storing vast amounts of solar energies in the form of biomass and petroleum products. However, this process takes a very long time. If the present rates of industrialization maintained, and the amenities from human-made system are to continue to be available, then the storage of energy is very essential. Provision of the solar thermal energy can reduce auxiliary energy consumption to a great extent and increase the so called solar load fraction substantially, thus conserving the valuable fossil fuel reverse, coal, oil, and natural gas. The storage of energy in suitable form, which can conveniently converted into the required form and a present day challenge to the technologists. However, it is clear that if thermal energy storage is to become an important energy source, efficient, economical and reliable thermal energy storage devices method will have to develop [5].

This study hopes to make a contribution towards a greater understanding of thermal energy storage devices. Presently paraffin is used as the storage material for thermal energy storage device. Paraffin is saturated (single bounded) hydrocarbon mixture, consisting of mixtures alkenes of varying chain lengths. These occur in the form of a simple straight chain called normal paraffin hydrocarbon or branched chain called iso-paraffin hydrocarbon. The thermophysical properties that are generally consider for paraffin wax in the context of heat transfer are density, viscosity, thermal conductivity, thermal diffusivity, enthalpy and latent heat. The thermophysical property of the paraffin wax (local product) as thermal energy storage, which is either in solid or liquid forms has never been published. Paraffin is normally understood as a substance having a waxy consistency at room temperature and paraffin wax is

another product with complicated mixtures of several organic compounds. Unlike other product like lubricating oils, however paraffin contains one major component called alkenes, characterized by C_nH_{2n+2} . Thus pure paraffin contains only alkenes, for example the well-known paraffin octadecana, $C_{18}H_{38}$. The melting point of the alkenes increases with the increasing number of the carbon atoms, alkenes containing 14 to 40 C-atoms possess melting points range between 6 to 80 °C and termed as paraffin.

2. EXPERIMENTAL METHOD

The methodology has been divided into two sections; the first is the study on experiment. It deals experimental to find the heat transfer characteristics of heated tube inline arrangement immersed in the thermal storage material. The second is numerical solution the heat transfer characteristic of the heated tube inline arrangement. The numerical results will be compared with experiment results. The numerical solution use of finite difference solution to model the heat transfer characteristic of inline heated tube arrangement immersed in the thermal storage material.

2.1 Simulation and Experimental

The methodology simulation is to predict the performance of heat storage. The nodal network for inline heated tube arrangement of the thermal energy storage (heat exchanger) was to be arranged first. The procedures for constructing the nodal network are explained as follows. The first step is to identify the region of all relevant lines of symmetry. Such lines are determined by thermal, as well as geometrical condition, for the inline and staggered heated tube arrangement. Such lines include the designated vertical, horizontal, and diagonal lines. For this system it is therefore possible to consider triangular and irregular pentagon shapes of the inline configuration. Lines of symmetry are adiabatic in the sense that there can be no heat transfer in a direction perpendicular to the lines. Since there is no heat flow in a direction perpendicular to a heat flow line, it can be termed an adiabatic. Fig. 2 shows the flow chart of the numerical solution. The flow chart starts with identifying the initial condition parameters and continues with the time setting for determining of heat flux for each nodal, its calculated apply the two-dimensional Fourier's law of conduction and convection heat transfer mode applied for thermal resistance of each nodal. Then the cumulative thermal energy storage in the thermal

energy storage material (paraffin wax) will be obtained. The increasing temperature of each nodal calculated used heat flux to each nodal for determine the new temperature each nodal. The new temperature of each node will be used for calculation later. The numerical calculations will stop if the time setting has finished (completed) [6].

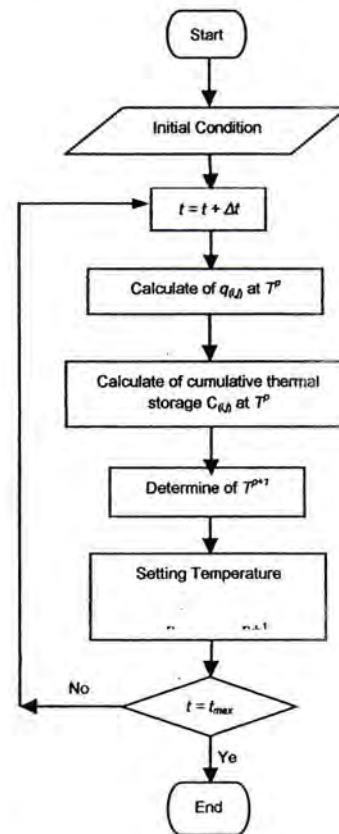


Fig. 2 Flow chart of numerical solution

2.2 Thermal Energy Storage

The thermal energy storage system must process a heat exchanger for transferring heat from the heat source to the heat storage substance. The type of the heat exchanging surface itself plays an important role in the design of thermal energy storage system, as it strongly influences the temperature gradient for charging and discharging of the storage. The experiment to analyze the characteristics and mechanics of heat transfer at phase change is using a

heat exchanger (the simple thermal energy storage) unit and a heat source shell and tube type. The thermal energy storage and heat source system are shown in Fig. 3.

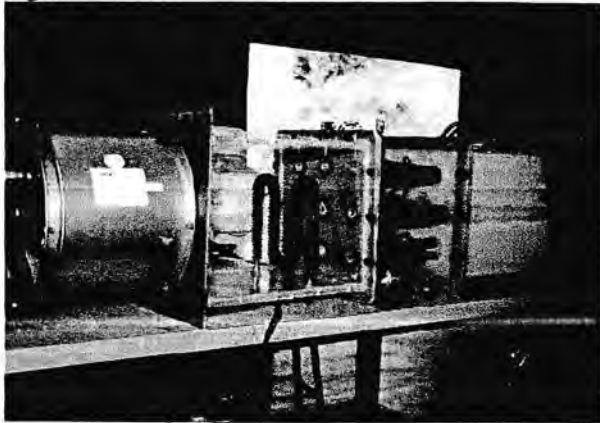


Fig. 3 Experimental setup

The thermal energy storage (container) was build using a box made of Perspex plastic material. The container shape is square cubic, its dimension (305x305x426) mm of wide, height, and length respectively. Perspex plastic a transference material was used for the body of container, it's to ensure that picture of the melting process paraffin wax can be taken. The container assembled used the synthetic adhesive and screws for connected, it is used to protect paraffin linkage when the melting process. The nine of tubes made of aluminium 19 mm outside diameter arranged and submerge in the paraffin wax as thermal energy storage material. The thermal conductivity (k) of aluminium oxide was 46 W/m K, it's the fact aluminium certainly used for heat transfer medium between Heat Transfer Fluid (HTF) and thermal energy storage material (paraffin wax). A heat source box made of Perspex plastic also, (305 x 305 x 426) mm of wide, height, length, and a heater used for heated the HTF (fresh air). The location of the heater was in the middle of that box, and heater type is a ring fin heater having a capacity of 3000 Watt maximum. The electrical regulator used to ensure that the temperature of HTF were different for each varies experiments. A draft fan 285 mm outside diameter having a power 80 W, flow rate 360 CFM (10.2 m³/min), and maximum speed 1400 rpm was used for passed the hot air (HTF) inside the aluminium tubes. The heater installed inside the heat source box and the draft fan outside the heat source box. The fibre and aluminium foil used are wrapped around the outer thermal energy storage unit

for heat insulation. The heat exchanger's heated tube arranged in two configurations, where nine tubes are square pitch (inline) which same of transversal and longitudinal distance ($ST = S L = 10 R$). The outer diameter (D) of aluminium tube is 19 mm ($R = 9.5$ mm), it's standard diameter of heat exchangers tube and the length of tube is $L = 500$ mm.

2.3 The Nodal Network

A finite difference method was applied for the numerical solution of inline heated tube arrangements. The space containing the phase change material was divided into volume elements of equal size as represented by the square and rectangle cross section elements for interior nodal ($\Delta x = \Delta y = 19$ mm) as shown in Fig. 4.

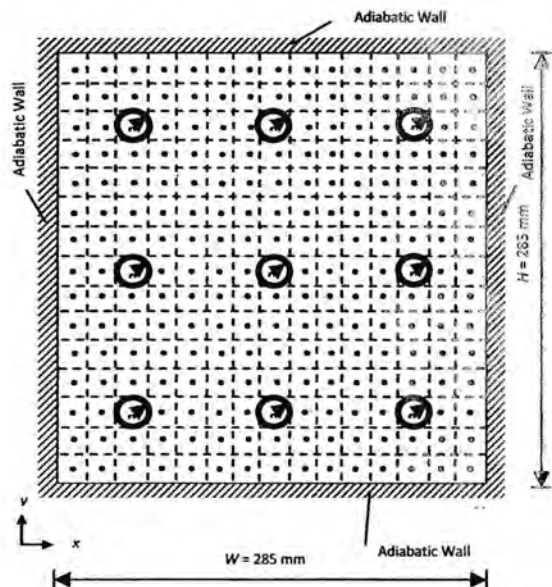


Fig. 4 Nodal network inline heated tube arrangement

A finite-difference Equation that is suitable for the interior nodes of a two dimensional system may be inferred directly from the heat equation. Recall that in any conduction analysis, there exist two major objectives. The first objective is to determine the temperature distribution in the medium (paraffin wax) which, for the present problem, necessitates determining $T(x,y)$. This objective is generally achieved by solving the appropriate form of the heat equation. Introducing Fourier's Law [7] to the general form of the energy conservation, and for two dimension, steady state conditions with no energy

generation and constant thermal conductivity,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

The temperature gradient may in turn express as a function of the nodal

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i,j} \approx \frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} - 2T_{i,j}}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

and

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{i,j} \approx \frac{T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 2T_{i,j}}{(\Delta y)^2} \quad (3)$$

Using a network for which $\Delta x = \Delta y$ and resulted in the following Equation,

$$T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 4T_{i,j} = 0 \quad (4)$$

2.3 The Energy Balance

Once again consider the two dimensional system of Fig.4, under transient condition with constant properties and no internal energy generation. The appropriate form of the heat diffusion equation for two-dimensional is,

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (5)$$

To obtain the finite difference form of this equation, we may use the central difference approximations to the spatial derivatives prescribe by equations 2 and 3. Once again i and j subscripts may be used to designate the x and y locations of discrete nodal points. However, in addition to discredit in space, the problem must discredit in time. The integer p is introduced for this purpose, where,

$$t = p \Delta t \quad (6)$$

The explicit form of the finite difference equation for the interior node i,j is

$$\frac{1}{\alpha} \frac{T_{i,j}^{p+1} - T_{i,j}^p}{\Delta t} = \frac{T_{i+1,j}^p + T_{i-1,j}^p - 2T_{i,j}^p}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{i,j+1}^p + T_{i,j-1}^p - 2T_{i,j}^p}{(\Delta y)^2} \quad (7)$$

Solving for the nodal temperature at the new time ($p+1$) and $\Delta x = \Delta y$, it follows that

$$T_{i,j}^{p+1} = Fo(T_{i+1,j}^p + T_{i-1,j}^p + T_{i,j+1}^p + T_{i,j-1}^p) + (1-4Fo)T_{i,j}^p \quad (8)$$

where Fo is a finite-difference form of the Fourier number [5]

$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (9)$$

The accuracy of the finite difference solution may be improved by decreasing the value of Δx and Δt . Of course the number of interior nodal points that must be considered increases with decreasing Δx , and the number of time intervals required to carry the solution to a prescribed final time increases with decreasing Δt . Hence, the computation time increase with decreasing Δx and Δt . The choice of Δx typically based on a compromise between accuracy and computational requirement. Once this selection has been made, however, the value of Δt may not be chosen independently, and its instead to determine by stability criterion requirements.

The criterion is determined by requiring that the coefficient associated with the nodal of interest at the previous time is greater than or equal to zero. In general to obtain the form of the equation, this is done by collecting all terms involving $T_{i,j}^p$. This result is then used to obtain a limiting relation involving Fo , from which the maximum allowable value of Δt may be determined. For example, with equation (8) already expressed in the desired form, it follow that the stability criterion for two-dimensional interior nodal is, $(1-4Fo) \geq 0$, or

$$Fo \leq \frac{1}{4} \quad (10)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section present and discuss the results characteristic heat transfer by experimental and numerical solution. The results that will be presented are:

1. The heat transfer experiments results which include given the temperature distribution thermal energy storage material (paraffin wax), surface temperature of tube, hot air temperature flow through inner the tubes, and mass flow rate of hot air.
2. Temperature distribution of thermal energy storage material (paraffin wax), thermal energy storage flow rate and melting fraction by numerical solution.

Melting point range ($T_m \pm \Delta T_m$) of the thermal energy storage material (paraffin wax) obtained from the thermo-grams of Differential Scanning Calorimetry (DSC) result. Thermal energy storage material (paraffin wax) started melting at 43°C (T_m -

$\Delta T_m = 43$ °C), and end of melting at 55.8 °C ($T_m + \Delta T_m = 55.8$ °C), so the melting point of paraffin wax as phase change material is (T_m) = 49.4 °C. Thermal conductivity paraffin wax (k), specific heat (C_p), and density (ρ) value for numerical solution used are:

1. Solid phase (25 °C $\leq T_s \leq 43$ °C): specific heat (C_{ps}) = 2.488 kJ/kg.K, density (ρ_s) = 882 kg/m³, and thermal conductivity (k_s) = 0.250 W/m.K.
2. Solid-liquid phase (phase change) (43 °C $\leq T \leq 55.82$ °C): Specific heat $C_{pm} \cdot \rho_m = 14,506$ kJ/m³.K, thermal conductivity (k_l) = 0.2403 W/m.K, and,
3. Liquid phase: (55.8 °C $\leq T \leq 60$ °C): specific heat (C_{pl}) = 2.592 kJ/kg.K, density (ρ_l) = 821 kg/m³, and thermal conductivity (k_l) = 0.200 W/m.K.

The temperature profiles of thermal energy storage material by numerical solution of nodal (8, 9) and (9, 8) for heat flux 225 W/m² of inline and staggered heated tube arrangement respectively was shown in Fig. 5.

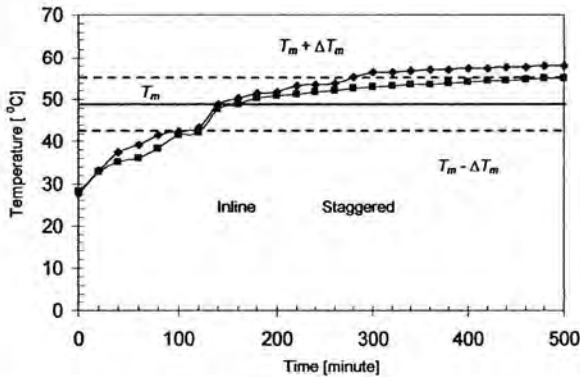


Fig. 5 Temperature profile of PCM by numerical

4. CONCLUSION

A thermal energy storage system with inline heated tube arrangement configuration has been studied numerically and experimentally. The system has paraffin wax as phase change thermal energy storage material (medium). A theoretical model was developed for the thermal process of the melting process of the paraffin wax outside the heated tube arrangement. The model is validated experimentally showing that the model is accurate enough to be used to predict the heat transfer characteristic and the time needed to melt the solid PCM.

The theoretical results agree fairly well with the experimental results, which show that the model is accurate enough to predict the solid PCM melting rate and the time needed to the solid PCM. The model also can be used to optimize the design and operation of latent thermal energy storage system with PCM outside the heated tube arrangement.

REFERENCES

- [1] A. Sciacovelli*, F. Colella, Verda, Melting of PCM in a thermal energy storage unit: Numerical investigation and effect of nano particle enhancement, Int. Journal of Energy Research, 37 (2012).
- [2] Dincer, I. Energy Storage, Thermal Energy Storage System and Application. pp. 57-59. New York, John Wiley & Sons, Ltd, (2002) 57-59.
- [3] Garg, H. P. Energy, Solar Thermal Energy Storage, Dordrecht, D. Reidel Publishing Company (1985) 23-40.
- [4] World Energy Council, World Energy Statistic, London. World Energy Council, November. (2009)
- [5] Abhat, A. Low temperature latent heat thermal energy storage heat storage material, Solar Energy, 30 (1983) 313-332.
- [6] He, B., and Setterwall, F. Phase transition temperature range and storage density of paraffin wax phase change materials, Journal Energy, 29: (2004) 1785-1804.
- [7] Çengel, A. Y. Steady heat conduction, International edition McGraw-Hill Companies, Inc, New Jersey; (2005) 375-384.
- [8] ASTM, Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Calorimetry, ASTM Designation Engineering (1991)1260-1290.

THERMAL PROPERTIES ANALYSIS OF MULTY COMPONENT MATERIAL AS THERMAL ENERGY STORAGE MATERIAL

Suditama¹⁾ Budhi S.K.²⁾

¹⁾Engineering Faculty of Universitas Medan Area
Jalan Kolam No. 1 Medan Estate (20223), North Sumatera, Indonesia

²⁾Harapan Higher Technology Scholl
Jalan Imam Bonjol, Medan, North Sumatera, Indonesia

e-mail: suditama@yahoo.com

Abstract

A composite paraffin-based phase change material (PCM) was prepared by blending composite paraffin through the fusion adsorption method. Thermodynamic data on the n-paraffins from n-C₆H₁₄ through n-C₁₈H₃₈ have been used to obtain for the specific heat, entropy, enthalpy. The aim of this study is to obtain the information about thermo-physical properties of phase change thermal storage material (PCM), its very important for designing of thermal energy storage system. The Differential Scanning Calorimetry (DSC), density meter, thermal conductivity meter, and viscometer are used for measuring the thermo-physical properties of thermal energy storage material (paraffin wax).

Keywords: paraffin, phase change, material, thermal storage, properties.

INTRODUCTION

Thermal energy storage is a temporary storage of high or low temperature energy for later usage. Example of thermal energy storage is the storage of solar energy for overnight heating. This is because solar energy, unlike fossil fuels, is not available at all times. Even cooling loads, which nearly coincide with maximum levels of solar radiation, often are present after sunset. Thermal energy storage can be important means of offsetting the mismatch between thermal energy availability and demand. Thermal energy may be stored by elevating or lowering the temperature of a substance (i.e. altering its sensible heat), by changing the phase of substance (i.e. altering its latent heat, or by a combination of the two. Both thermal energy storage forms are expect to see extended applications as new energy technologies are developed. Energy demand in the commercial, industrial and utility sector varies on a daily and weekly basis. Ideally, these demands are match by various energy conversion systems that operate synergistically. Peak hours are most difficult and expensive to supply. Peak electrical demand generally met by conventional gas turbine or diesel generator, which is reliant, costly and relatively scarce oil or gas. Thermal energy storage provides an alternative method of supplying peak energy demand. Likewise, energy storage can improve the operation of cogeneration, solar, wind, and run-of-river hydro facilities.

A review on phase change energy storage materials, heat transfer analysis and applications, provide examples of energy storage applications such as [1], 1. Utility Relatively inexpensive base load electricity can used to charge energy storage during evening or off-peak weekly. The electricity used during peak periods, reducing the reliance on conventional gas and oil peaking generator. 2. Industry High temperature waste heat from various industrial processes can stored for use in preheating and other heating operations. 3. Cogeneration Since the closely coupled production of thermal and electricity by a cogeneration system rarely matches demand exactly, excess electricity or heat can be stored for subsequent use. 4. Wind and run-of river hydro conceivably the system can

operate around the clock, charging an electrical storage system during low-demand hours and later using that electricity for peaking purposes. Energy storage increases the capacity factor for these devices, usually enhancing their economic value. 5. Solar system By storing excess solar energy received on sunny days for use on cloudy days or night, energy storage can increase the capacity factor of solar energy systems.

MATERIALS AND METHOD

I. Background

According to studied the phase change thermal energy storage material should exhibit certain thermodynamic, kinetic, and chemical properties. It should also be economic. The various criteria outline above that govern the selection of phase change thermal energy storage material are summarized as follows [2].

- A. Thermodynamic Criteria, the phase change materials should process:
1. A melting point in desired operating temperature range.
 2. High latent heat of fusion per unit mass, so that a lesser amount of material stores a given amount of energy.
 3. High density, so that a smaller container volume holds the material.
 4. High specific heat to provide for additional significant sensible heat storage effects.
 5. High thermal conductivity, so that temperature gradients required for charging and discharging the storage material is small.
 6. Congruent melting, the material should melt completely so that the liquid and solid phases are identical in composition. Otherwise, the difference in densities between solid and liquid will cause segregation resulting in changes in the chemical composition of the material.
 7. Small volume changes during phase transition, so that a simple containment and heat exchanger geometry can be used.
- B. Kinetic Criteria, the phase changes material should exhibit, little or no super-cooling during freezing, the melt should crystallize at its thermodynamic freezing point. This is achieved through a high rate of nucleation and growth rates the crystal. At time, the super-cooling may be suppressed by introducing nucleating agents or a cold finger in the storage material. Chemical Criteria, the phase change material should show:
1. Chemical stability
 2. No chemical decomposition, so that a high low temperature thermal energy storage system life is assured
 3. Non-corrosive to construction materials
 4. The material should be non-poisoning, nonflammable and non-explosive
- C. Economic Criteria, the phase change material should be:
1. Available in large quantities
 2. Inexpensive

Paraffin as thermal energy storage ma showed that for comfort cooling, the phase change material (PCM) should have a phase change temperature of approximately 5 0C - 10 0C. The study deals with the preparation of paraffin/high density polyethylene (HDPE) composites as form stable, a solid-liquid phase change material (PCM) for thermal energy storage and the determination of their thermal properties [4]. The objective of this study is to prepare paraffin composites of type P1 (melting point, $T_m = 42-44$ °C)/HDPE and type P2 (melting point, $T_m = 56-58$ °C)/HDPE as phase change materials and to investigate their microstructure using SEM and to determine the thermal properties by employing the Differential Scanning Calorimetry (DSC) method. The study also estimates the increased

in the thermal conductivity of the form-stable composite phase change materials due to the addition of expanded and exfoliated graphite, which has function of improving the thermal conductivity. The study showed that it is possible to prepare composite compounds of two types of paraffin ($T_m = 42-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $56-58\text{ }^{\circ}\text{C}$) with HPDE as form stable, solid-liquid phase change material.

In each composite, the paraffin compound is dispersed into the network of solid HDPE, and it serves as latent heat storage material while the HDPE acts as a supporting material. Therefore, the solid HDPE prevents leakage of the melted paraffin due to its structural strength. From the point of view of satisfactory thermal characteristics and improve thermal conductivity, it can be concluded that the prepared form stable paraffin/HDPE blends as composite type PCM have great potential for thermal energy storage application. Furthermore, these composite PCM added with expanded graphite (EG) can be considered cost effective latent heat storage material since they do not required encapsulation and the extra cost to enhancing heat transfer in the paraffin. The SEM photographs indicating the microstructures of the form-stable P1/HDPE and P2/HDPE composite PCMs are shown in Fig. 1.

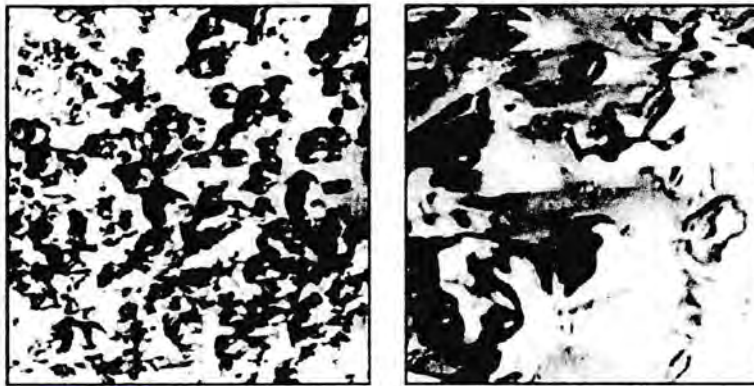


Fig. 1 The SEM photographs of composite PCM

II. Methodology

The methodology deals with the selection of thermal energy storage material for latent thermal energy storage, measurement of the thermo-physical properties of the thermal energy storage material. The material selection was based on the material criteria which were obtained by measuring the thermo-physical properties (density, specific heat, thermal conductivity, viscosity and latent heat) of the thermal energy storage materials and comparison to the other materials. The used of phase change material (PCM) for thermal energy storage has received growing attention in recent years in view of the potential of these materials to provide storage with a constant temperature characteristic, and it form more compact units than those based on sensible heat. PCM systems have been of particular interest in solar application, where the heat supply and demand patterns are often quite different from each other, requiring sizeable, yet inexpensive storage device. The research and development in area of PCM storage has centre around two main problems: finding suitable material and studying the melting heat transfer process, which has an important influence on design of an efficient storage unit. Paraffin wax used as thermal energy storage material is shown in Fig. 2.



Fig. 2 Paraffin wax as thermal energy storage material

The various criteria that govern the selection of phase change thermal energy storage materials were summarized. Applying the criteria procedure, the selection of paraffin wax as the thermal energy stored material for experiment is due to the paraffin dominating these criteria (thermodynamic, kinetic, and chemical criteria). Also it is low cost and available on a large scale in marketing.

III. Measurement of Thermo-physical Properties

The melting characteristic of the thermal energy storage material (paraffin wax) was measured using Differential Scanning Calorimetry (DSC). It measures the melting point, latent heat, and specific heat. The DSC provides quick and reliable results in the form of temperature versus heat flux (thermo-grams) using very small quantity of the sample (paraffin wax). Density meter was used to measure the density of the thermal energy storage material in solid and liquid phases. Thermal conductivity meter and viscometer were used for measuring the thermal conductivity, and viscosity (kinematics viscosity) of the thermal energy storage material (paraffin wax) respectively. The type of Differential Scanning Calorimetry (DSC) used was DSC 822e, a METTLER TOLEDO product as shown in Fig. 3. The DSC's result is a graph temperature versus heat flux (thermo-grams). The evaluations of the thermo-grams with standardized procedure [4] are to find the melting point, specific heat and latent heat. There are two main goals in sample preparation

1. Good thermal contact of the sample with the pan to obtain reproducible curves and sharp peak (good resolution)
2. Defined type of exposure to the furnace atmosphere (open for constant pressure and sealed for constant volume).

The DSC's sample (paraffin wax) is placed in the pan in very small quantity (ca. 1 mg -10 mg), which is closed and the net weighted on a scale (with a glass pan, the sealed off section beyond the seal is also weighted). This procedure reduces errors arising from spillage or evaporation of the sample. To investigate an unknown sample the total mass of crucible, lid and sample must be weighed before the experiment and then comparison made between the initial mass with the mass after the measurement. Possible weight changes during the course of the experiment were detected. This is necessary for correct interpretation of the DSC curves. In a blank experiment, the empty pan weight was keyed in under pan weight option in the experiment window. Similarly, the sample pan weight must be keyed in for specific heat evaluations. With the scale connected to the Personal Computer (PC), the next weigh and its result was transferred to a personal computer by pressing the print button at the scale and the values are stored in a buffer.

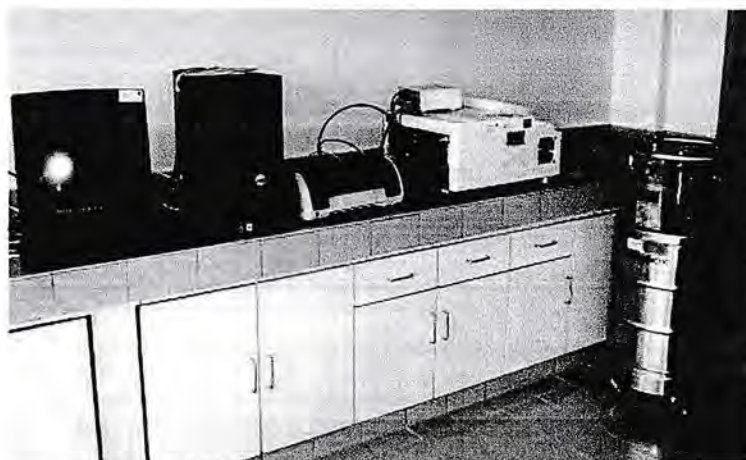


Fig. 3 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

The type of lid to close the pan depends on how much contact is required with the atmosphere. A lid with many holes allows free access for the measuring cell atmosphere. At the same time, the lid hinders liquid products creeping out of the pan and spoiling the DSC sensor, which can be important in the study of oxidation stability under dynamic conditions. Isothermal measurements of the oxidation stability can be carried out in a pan without a lid. In general, the lid is perforated before sealing the pan in order to avoid distortion of the pan (procedure: the inverted lid is placed on a soft support, such as India rubber, and about 5 holes are pierced with a thick pin). A restricted exchange of gas is important in the determination of the boiling behavior of liquids, for example, where the lid is placed on a hard surface (e.g. the pan box), and a single hole is pierced with a sharp pin. If the perforated lid inspected under a microscope, the hole should ideally be about 50 μm in diameter. A sample is hermetically sealed off so that no components can evaporate (e.g. during chemical reaction), in order to suppress unwanted degradation reaction at elevated temperatures (e.g. in purity determinations) and to avoid oxidation reactions.

RESULTS AND DISCUSSION

Evaluation of energy time diagrams (thermograms) yield rather precise values of the phase transition temperatures during melting of the sample, the heats of fusion and the specific heat variation as a function of temperature. The DSC is however, a severe test for super-cool substances, since the supercooling tendencies maximized due the small quantity of the samples and the poor nucleating conditions in the DSC testing pan. Consequently for materials like salt hydrates, the DSC fails to provide meaningful information of the degree of super-cooling and on the freezing point of the substance. The correlation of specific heat and latent heat for constant pressure is as follow:

$$C_p A = \left(\frac{dh}{dT} \right)_p \quad (1)$$

Where:

C_p = Specific heat, ∂h = differential of enthalpy, and ∂T = differential of temperature.

The enthalpy of the paraffin wax (phase change transition process /storage density) can also determined by DSC measurement. The area of DSC peak can be used to estimate the enthalpy of phase transition. From theoretical modeling, it can calculate by the equation bellow:

$$Q_c = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_p dt \quad (2)$$

where, $(dQ/dt)_p$ is the heat flow in unit W/g on pressure constant and t is time.

The density of a substance is the quantity of the paraffin wax in a unit volume of the substance measured by the density meter. The measurements will be taken for some different temperatures between 25–80 °C, and its conduct by circulating hot water through insulated tubing. Density is intensive property and affected by temperature and pressure. The density (ρ) of a substance defined as mass per unit volume:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

where ρ = density, m = mass, and V = volume.

The thermal conductivity of phase change material (PCM) was determined use Thermal Conductivity Meter, which is a Kyoto electronic Manufacturing Co. Ltd. Product. Thermal conductivity may be classified as a transport property since it is indicative of the energy transport in a solid or fluid. In gases and liquids, the transport of energy takes place by molecular motion, while in solids, transport of energy by free electron and lattice vibration is important. The measurement will take for on some different temperatures and the range temperature of the measurement is between 25°C – 80°C.

Thermal conductivity defined by the Fourier Equation

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

where q_x = heat transfer rate (W), A = area through which the heat is transferred (m^2), $(\partial T/\partial x)$ = temperature gradient (K/m), k = thermal conductivity (W/m.K).

Viscosity was measured with a Brookfield LV viscometer. The type of cup and spindle used was determined by viscosity of the sample. Dynamic Viscosity (μ) is the property of a fluid, due to cohesion and interaction between molecules, which offer resistance to shear deformation. Different fluids deform at different rates under the same shear stress and the viscosity of the phase change material was measured by the viscometer. The measurements of the viscosity were adjusted for some different temperatures and the temperature range of the measurement is between 25- 80 °C. To accomplish this measurement, the cup of the sample had a flow jacket. It is connected to the port of the circulating bath (hot water) through insulating tubing. The defining equation of dynamic viscosity is:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (5)$$

where τ = shear stress between fluid layer in laminar flow, μ = dynamic viscosity, and du/dy = normal velocity gradient.

Paraffin has been suggested as phase change material for thermal energy storage system which has the advantage of the latent heat of fusion and well suited to the thermal applications due to their chemical, physical properties and easy of handling. Essentially

measurement technique is employed for determination of the melting characteristic by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and the other equipment (conductivity meter, viscous meter etc.). Thermo-grams of the DSC's result is shown in Fig. 4, where the paraffin wax exhibits a sharp peak which is around 43 °C and secondary peaks at temperature of 55.8 °C. Evaluations of the peaks has shown that paraffin undergo solid-solid and solidliquid phase change transitions. The DSC technique additionally provides a quantitative measurement of the energy content associated with each of the phase transitions.

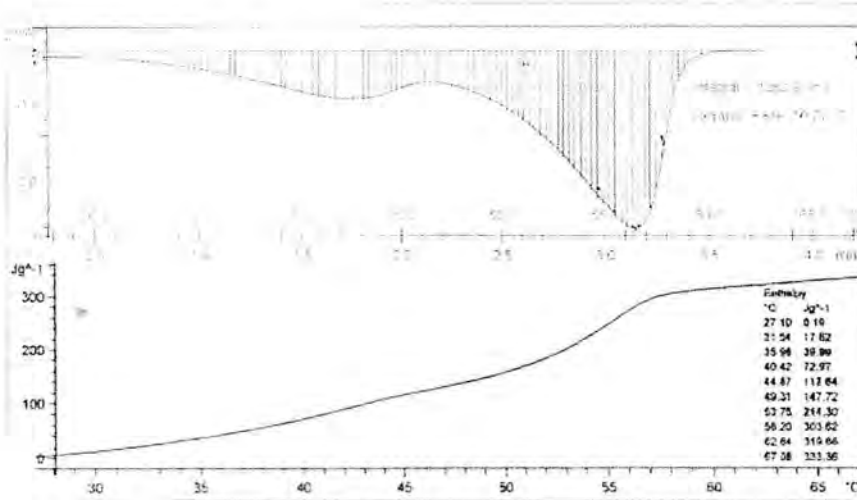


Fig. 4 Thermo-grams of DSC's result

For comparing these results with the value reported for the same paraffin wax as thermal energy storage material by other researcher in the literature. Table 1 shows the thermo-physical properties of the of the phase transitions.

For comparing these results with the value reported for the same paraffin wax as thermal energy storage material by other researcher in the literature.

Table 1 shows the thermo-physical properties of the paraffin wax

Properties (Enibe)	(Enibe) Results	(Qarnia) Results	(Shina) Results
Melting temperature range (°C)	58 -60	27	28
Specific heat (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	0.9	2.165	2.2 (liquid) 1.8 (solid)
Thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0.2	0.148 (liquid) 0.358 (solid)	0.15 (liquid) 0.42 (solid)
Enthalpy of fusion (kJ.kg ⁻¹)	214.4	243.5	243
Solid density (kg.m ⁻³)	850	776.5	850
Liquid density (kg.m ⁻³)	775	-	-
Viscosity (kg.m ⁻¹ .s ⁻¹)	1.07 x 10 ⁻⁶	-	-
Thermal expansive (K ⁻¹)	3.6 x 10 ⁻⁴	-	-

Table 2: Thermo-physical properties of paraffin wax measured results

T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	$\beta \times 106$ (K^{-1})	$\mu \times 106$ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	$\nu \times 106$ (m^2/s)	CP ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	k ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	$\alpha \times 106$ (m^2/s)	Pr
25	898.74	1749.83	-	-	2.4478	0.2517	0.11441	-
26	897.11	1811.78	-	-	2.4523	0.2516	0.11434	-
27	895.43	1873.27	-	-	2.4568	0.2514	0.11428	-
28	893.70	1934.32	-	-	2.4613	0.2512	0.11421	-
29	891.92	1994.94	-	-	2.4657	0.2510	0.11415	-
30	890.08	2055.17	-	-	2.4702	0.2508	0.11409	-
31	888.20	2115.00	-	-	2.4746	0.2506	0.11403	-
32	886.27	2174.48	-	-	2.4790	0.2504	0.11397	-
33	884.29	2233.61	-	-	2.4834	0.2502	0.11391	-
34	882.26	2292.40	-	-	2.4878	0.2499	0.11386	-
35	880.19	2350.89	-	-	2.4921	0.2496	0.11381	-
36	878.07	2409.08	-	-	2.4965	0.2494	0.11375	-
37	875.90	2466.98	-	-	2.5009	0.2491	0.11370	-
38	873.69	2524.62	-	-	2.5052	0.2488	0.11365	-
39	871.43	2582.01	559268.8	641.78	2.5095	0.2484	0.11360	5649.39
40	869.13	2639.16	359681.2	413.84	2.5139	0.2481	0.11355	3644.49
41	866.79	2696.08	258301.4	298.00	2.5182	0.2477	0.11350	2625.48
42	864.40	2752.80	197420.3	228.39	2.5226	0.2474	0.11345	2013.07
43	861.98	2809.32	157095.1	182.25	2.5269	0.2470	0.11340	1607.10
44	859.51	2865.65	128603.8	149.63	2.5312	0.2466	0.11335	1319.99
45	857.00	2921.80	107529.7	125.47	2.5355	0.2462	0.11330	1107.41
46	854.44	2977.80	91399.1	106.97	2.5399	0.2458	0.11325	944.52
47	851.85	3033.65	78719.6	92.41	2.5442	0.2453	0.11320	816.33
48	849.22	3089.36	68538.8	80.71	2.5485	0.2449	0.11315	713.29
49	846.55	3144.95	60220.7	71.14	2.5529	0.2444	0.11310	628.99
50	843.84	3200.41	53325.1	63.19	2.5572	0.2439	0.11304	559.03
51	841.09	3255.78	47537.8	56.52	2.5615	0.2434	0.11299	500.23
52	838.31	3311.05	42628.9	50.85	2.5659	0.2429	0.11293	450.29
53	835.49	3366.24	38426.7	45.99	2.5702	0.2424	0.11287	407.48
54	832.63	3421.35	34800.0	41.80	2.5746	0.2418	0.11281	370.49
55	829.73	3476.40	31647.6	38.14	2.5789	0.2413	0.11275	338.29
56	826.80	3531.40	28889.8	34.94	2.5833	0.2407	0.11269	310.08
57	823.84	3586.36	26463.2	32.12	2.5877	0.2401	0.11262	285.22
58	820.84	3641.29	24316.9	29.62	2.5921	0.2395	0.11255	263.21
59	817.80	3696.19	22409.4	27.40	2.5964	0.2388	0.11248	243.61
60	814.74	3751.07	20706.9	25.42	2.6008	0.2382	0.11241	226.10
61	811.63	3805.96	19181.1	23.63	2.6053	0.2375	0.11233	210.38
62	808.50	3860.85	17808.8	22.03	2.6097	0.2369	0.11226	196.22
63	805.34	3915.75	16570.3	20.58	2.6141	0.2362	0.11218	183.42
64	802.14	3970.67	15448.9	19.26	2.6186	0.2354	0.11209	171.82
65	798.91	4025.63	14430.7	18.06	2.6230	0.2347	0.11200	161.27
66	795.65	4080.63	13503.5	16.97	2.6275	0.2340	0.11191	151.65
67	792.36	4135.69	12657.1	15.97	2.6320	0.2332	0.11182	142.85
68	789.04	4190.80	11882.5	15.06	2.6365	0.2324	0.11172	134.79
69	785.69	4245.98	11172.0	14.22	2.6410	0.2316	0.11162	127.39
70	782.31	4301.24	10518.9	13.45	2.6455	0.2308	0.11152	120.57
71	778.90	4356.58	9917.4	12.73	2.6500	0.2300	0.11141	114.29
72	775.46	4412.02	9362.2	12.07	2.6546	0.2291	0.11129	108.48
73	772.00	4467.57	8849.0	11.46	2.6592	0.2282	0.11118	103.10
74	768.51	4523.23	8373.6	10.90	2.6638	0.2273	0.11105	98.11
75	764.99	4579.01	7932.6	10.37	2.6684	0.2264	0.11093	93.48
76	761.44	4634.92	7522.8	9.88	2.6730	0.2255	0.11080	89.17
77	757.87	4690.97	7141.5	9.42	2.6776	0.2246	0.11066	85.15
78	754.27	4747.17	6786.2	9.00	2.6823	0.2236	0.11052	81.41
79	750.65	4803.53	6454.6	8.60	2.6870	0.2226	0.11037	77.91
80	756.18	4860.05	6144.8	8.23	2.6917	0.2216	0.11022	74.63

CONCLUSIONS

Evaluation of the thermo-grams furthermore showed that the total phase transition enthalpy of the commercial paraffin agree closely with the manufacture's data. The enthalpy associated with the solid-solid phase transition was rather significant. The above results are particular important for the choice of paraffin for low temperature applications, where the temperature excursions of the storage are generally limited to (5–10) K above the melting point. The measurement of the thermo-physic properties of phase change material (paraffin wax) result are fined the density, viscosity, specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity and Prandl number. Evaluation of thermo-grams of DSC's result yield rather precise value of the phase transition temperature during melting of the sample, the thermograms identify of the thermal energy storage material (paraffin wax) is containing number of carbon C₂₂-C₂₆, and melting point range is (43.00-55.8) °C. Paraffin wax was used for thermal energy storage material dominates in thermodynamic, kinetic and chemical criteria, paraffin wax is easy to find in market and cheaper compare to other the candidate's material. The thermo-physical properties of petroleum wax results of measured was not information from literature review, industry of petroleum and others before.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research supported by "Hibah Bersaing" in 2013 financial by Higher education ministry of Indonesian Republic.

REFERENCES

- [1] Zalba, B. José, M. M., Cabeza, L. F., and Mehling, H. "Review on thermal energy storage with phase change: material, heat transfer analysis and applications", *J. Applied Thermal Engineering*, 23, pp. 251-283, 2003
- [2] Abhat, "A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage material", *Solar Energy*, 30: pp. 313-332, 1983
- [3] He, B., and Setterwall, F. "Phase transition temperature range and storage density of paraffin wax phase change materials", *Journal Energy*, 29: pp. 1785-1804, 2004
- [4] ASTM, "Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Calorimetry", *ASTM Designation Engineering*: pp. 1260-1290, 1991.
- [5] Sari A. , "Form-stable paraffin/high density polyethylene composites as solid-liquid phase change material for thermal energy storage: Preparation and thermal properties", *Energy Conversion and Management*, 45: pp. 2033-2042., 2004
- [6] Enibe S. O. "Thermal analysis of a natural circulation solar air heater with phase change material energy storage", *Renewable Energy*, 28: pp. 2269-2299, 2003
- [7] A. Sciacovelli*, F. Colella, .Verda, Melting of PCM in a thermal energy storage unit: Numerical investigation and effect of nano particle enhancement, *Int. Journal of Energy Research*, 37 (2012).