

‘Saya akui bahawa saya telah membaca  
karya ini dan pada pandangan saya karya ini  
adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal Bendalir)’

Tandatangan : .....

Nama Penyelia I : .....

Tarikh : .....

ALAT UJIKAJI MINIATUR PEMINDAHAN HABA: REKABENTUK DAN  
FABRIKASI

MOHAMMAD UZAIR BIN ABDUL SAMAD

Laporan ini dikemukakan sebagai  
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal Bendalir)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

JUN 2012

**PENGAKUAN**

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya”

Tandatangan : .....

Penulis : .....

Tarikh : .....

## **DEDIKASI**

Laporan ini di dedikasi kan kepada kedua-dua ibu bapa saya yang tercinta

Abdul Samad bin Morseh

dan

Nor Aishah binti Abdullah

## PENGHARGAAN

Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana berjaya menyiapkan laporan ini. Tidak dilupakan buat kedua-dua ibu bapa saya atas dorongan dan sokongan yang telah diberikan oleh mereka walau apa jua halangan yang mendarang dalam menyiapkan laporan ini. Juga setinggi-tinggi ucapan terima kasih buat penyelia saya, Encik Imran Syakir bin Mohamad kerana telah banyak membantu dan memberi tunjuk ajar dalam menyiapkan laporan ini.

Ucapan penghargaan saya yang terakhir adalah untuk rakan-rakan seperjuangan dan rakan sebilik kerana banyak membantu saya dalam menyelesaikan masalah. Saya amat menghargai segala pertolongan dan sokongan.

## ABSTRAK

Laporan ini berkenaan “Alat Ujikaji Miniatur Pemindahan Haba: Rekabentuk Dan Fabrikasi”. Projek ini dijalankan bertujuan merekabentuk alat ujikaji miniatur pemindahan haba bagi mengkaji prestasi pemindahan haba diantara bendalir piawai dengan bendalir ternyahion dan juga bendalir piawai dengan bendalir nano. Beberapa langkah ujian dijalankan dan data direkodkan menggunakan alat termogading. Laporan ini terbahagi kepada lima bahagian. Bahagian pertama mengandungi pengenalan projek. Bahagian kedua merujuk kepada kajian ilmiah terhadap bendalir nano. Bahagian ketiga merujuk kepada kaedah kajian dimana bagaimana alat ujikaji miniatur pemindahan haba dibina dan bagaimana bendalir nano dihasilkan. Bahagian merangkumi keputusan dan perbincangan dimana data yang diperolehi akan dibincangkan. Dan bahagian terakhir berkaitan kesimpulan dan cadangan. Keputusan bagi ujian yang dijalankan menunjukkan bendalir nano NC 300 lebih baik berbanding CNT komersial dari segi pemindahan haba. CNT komersil menunjukkan peningkatan yang amat baik pada suhu 6 °C pada purata campuran CNT 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, dan 0.8 % manakala NC 300 pula menunjukkan perubahan yang amat baik pada suhu 45 °C pada semua purata campuran. Ini menunjukkan NC 300 lebih baik berbanding CNT komersil pada suhu tinggi manakala CNT komersil menunjukkan perubahan yang amat baik dari segi pemindahan haba pada suhu rendah.

***ABSTRACT***

This report based on “Miniature Heat Transfer Analyzer : Design & Fabrication”. This project was carried out the aim design of miniature heat transfer analyzer and to study the heat transfer performance between standard fluid with deionized fluid and also standard fluid with nano fluid. A several test will be conducted and data will be recorded using equipment called thermocouple. This report are separate into several section that is first section contain project introduction. Second section refers to literature review on nano fluid. Third section refers to methodology where how to built the miniature heat transfer analyzer and how to produce the nano fluid. The forth section are include the result and discussion where the data collected will be discussed. The last section is conclusion and recommendation. Based on experiment result shown that nanofluid NC 300 much better compared to commercial carbon nano tube (CNT commercial) in term of heat transfer. CNT commercial show the best result at temperature 6 °C at mixture mean of CNT 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, and 0.8 % where NC 300 show the best result at temperature 45 °C at overall mixture mean. Compared to this two type of nanofluid, NC 300 has the best result at high temperature and CNT commercial show the best result at low temperature.

**ISI KANDUNGAN**

PENGAKUAN	iii
DEDIKASI	iv
PENGHARGAAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
ISI KANDUNGAN	viii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xii
SENARAI LAMPIRAN	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif kajian	3
1.3 Penyata Masalah	3
1.4 Skop Kajian	4
BAB 2	5
KAJIAN ILMIAH	5
2.1 Sejarah Bendalir Nano	5
2.2 Kajian Ilmiah	11
2.3 Sintesis Bendalir Nano	12

2.4 Pemindahan Haba Dalam Bendalir Nano	16
2.5 Aplikasi Bendalir Nano	26
BAB 3	30
KAEDAH KAJIAN	30
3.1 Pendahuluan	30
3.2 Pemilihan bahan	31
3.3 Penyediaan bendalir nano	37
BAB 4	39
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	39
4.1 Pendahuluan	39
4.2 Jenis ujikaji	41
4.3 Perbandingan CNT komersil dan NC 300	60
BAB 5	64
KESIMPULAN DAN CADANGAN	64
5.1 Kesimpulan	64
RUJUKAN	67

## **SENARAI JADUAL**

Jadual 2.1	Peningkatan maksima konduktiviti haba menggunakan bendalir asas air glikol etilena dan minyak mineral	18
Jadual 2.2	Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba menggunakan bendalir asas air, glikol, dan minyak mineral	21
Jadual 2.3	Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba mengandungi karbon nanotub, bendalir asas air, glikol etilena, dan minyak mineral	22
Jadual 3.1	Pemilihan rekabentuk	34
Jadual 3.2	Bahan-bahan diguna membina alat ujikaji miniatur pemindahan haba	35
Jadual 3.3	Timbang berat untuk natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub. Terdapat lima bacaan berbeza untuk satu bancuan	38
Jadual 4.1	Ukuran bagi setiap komponen	40
Jadual 4.2	Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 6 °C	43
Jadual 4.3	Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 25 °C	45
Jadual 4.4	Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 45	47
Jadual 4.5	Campuran diantara natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub	49
Jadual 4.6	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 6	50

Jadual 4.7	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 25 °C	51
Jadual 4.8	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 45 °C	52
Jadual 4.9	Peratusan purata bagi bendalir piawai dan campuran CNT komersil pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C	53
Jadual 4.10	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 6 °C	55
Jadual 4.11	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 25	56
Jadual 4.12	Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 45 °C	57
Jadual 4.13	Peratusan purata bagi bendalir piawai dan campuran NC300 pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C	58
Jadual 4.14	Peratusan purata bagi bendalir piawai, CNT komersil, dan NC 300	60

## **SENARAI RAJAH**

Rajah 2.1	Dua langkah proses penghasilan bendalir nano	13
Rajah 2.2	Rajah skematik sistem penghasilan bendalir nano	14
Rajah 3.1	Silinder	31
Rajah 3.2	Gegelung tegak	32
Rajah 3.3	Kekotak	32
Rajah 3.4	Gegelung melintang	33
Rajah 4.1	Ukuran bagi setiap komponen	40
Rajah 4.2	Graf pemindahan haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 6 °C	44
Rajah 4.3	Graf pemindahan haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 25°C	46
Rajah 4.4	Graf pemindahan haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 45°C	48
Rajah 4.5	Graf bendalir piawai vs CNT komersil pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C	53
Rajah 4.6	Graf bendalir piawai vs NC300 pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C	58
Rajah 4.7	Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 6 °C	61
Rajah 4.8	Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 25 °C	62
Rajah 4.9	Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 45 °C	63

**SENARAI LAMPIRAN**

Lampiran A	Carta alir PSM	74
Lampiran B	Carta gantt PSM 1	75
	Carta gantt PSM 2	76
Lampiran C	Komponen-komponen yang digunakan untuk menghasilkan alat ujikaji miniatur pemindahan haba	77
Lampiran D	Cara-cara penyediaan bendalir nano	78
Lampiran E	Pengiraan pemindahan haba	79

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Perkembangan teknologi yang terlalu pesat pada masa kini banyak membantu manusia dan banyak memberi faedah kepada bidang-bidang teknikal, kejuruteraan, pembuatan dan elektrikal. Produk baru yang dikeluarkan oleh syarikat tertentu bergantung kepada pemintaan pengguna itu sendiri. Produk-produk yang berkaitan dengan elektrik, mekanikal, pembuatan dan sebagainya amat berkembang pesat dan memenuhi pemintaan pengguna dan juga pesaingan teknologi yang bertambah pesat di era globalisasi ini.

Sistem penyejukan antara teknologi yang berkembang pesat dimana sistem penyejukan jika dilihat pada masa kini terlalu banyak digunakan termasuk rumah, bangunan, kilang dan sebagainya. Malaysia yang terletak di kawasan doldrum khatulistiwa amat jarang sekali mempunyai keadaan langit tidak berawan langsung meski pun pada musim kemarau teruk. Tetapi akibat daripada pembalakkan yang tidak terkawal, banyak pembinaan bangunan-bangunan tinggi, maka amat sesuai sistem penyejukan dipasang.

Secara teorinya, sistem penyejukkan adalah satu proses di mana kerja dilakukan bagi memindahkan haba dari satu lokasi kepada lokasi yang lain. Terdapat tiga jenis sistem penyejukkan pada amnya iaitu sistem penyejukkan cecair, sistem penyejukkan udara, dan sistem penyejukkan gas. Untuk projek ini, kajian terhadap pemindahan haba yang digunakan didalam sistem penyejukkan cecair dikaji untuk meningkatkan lagi konduktiviti haba dimana air suling yang diguna pakai pada masa sekarang ini tidak mempunyai sifat-sifat kekonduksian haba yang baik seperti bendalir nano.

Bendalir nano atau “nanofluid” adalah cecair yang mengandungi zarah-zarah bersaiz nanometer, yang dipanggil nanopartikel. Di dalam kejuruteraan bendalir, bendalir nano ini menjadi rujukan kepada koloid partikal nano dalam bendalir asas. Partikal nano yang digunakan didalam bendalir nano biasanya diperbuat daripada logam, oksida, karbida, ataupun nanokarbon. Asas cecair termasuklah air, glikoletilena, dan minyak.

Bendalir nano mempunyai ciri-ciri yang berlainan yang membuatkan ia berpotensi digunakan dalam banyak aplikasi dalam pemindahan haba termasuklah mikroelektronik, sel-sel bahan api, proses farmaseutikal, enjin hibrid berkuasa, sistem penyejukkan enjin, peti sejuk domestik, pendingin, penukar haba, reaktor nuklear, dalam pengisaran, mesin, dan di dalam dandang serombong suhu pengurangan gas. Bendalir nano menunjukkan kekonduksian haba dan pekali pemindaha haba perolakan yang dipertingkatkan berbanding dengan bendalir asas.

## 1.2 Objektif Kajian

Kajian yang dilakukan adalah untuk mencapai objektif berikut:

- 1) Merekabentuk dan fabrikasi alat ujikaji miniatur pemindahan haba.
- 2) Mengukur dan menguji prestasi pemindahan haba bendalir nano CNT komersil (carbon nano tube commercial) dan NC 300 menggunakan alat ujikaji miniatur pemindahan haba.

## 1.3 Penyata Masalah

Laporan ini bertujuan untuk mengkaji perubahan haba diantara air sejuk dan bendalir nano. Isu yang terdapat pada air suling ialah konduktiviti haba yang rendah berbanding konduktiviti haba pada pepejal. Ini kerana air konvensional mempunyai zarah-zarah bersaiz mikron ( $\mu\text{m}$ ) dimana konduktiviti haba yang rendah ini menjadi tanda aras kepada pembaharuan konduktiviti haba tersebut. Untuk mengelakkan hal ini terjadi, bendalir nano akan digunakan. Bendalir nano merupakan kelas pemindahan haba yang baru dan maju dimana ia akan menyebarkan partikal nano yang mempunyai saiz lebih kecil dari 150 nm (nanometer) berbanding air suling. Tambahan logam di dalam air akan membaik pulih konduktiviti haba di dalam proses pemindahan haba.

#### **1.4 Skop Kajian**

Laporan ini merangkumi:

1. Kajian ini merangkumi aspek pembinaan alat ujikaji miniatur pemindahan haba.
2. Mengkaji perubahan suhu bendalir piawai ( $\Delta T$ ) terhadap air ternyahion pada tiga suhu berbeza iaitu ( $6^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ ).
3. Mengkaji perubahan suhu bendalir piawai ( $\Delta T$ ) terhadap bendalir nano pada tiga suhu berbeza iaitu ( $6^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ ).

## BAB 2

### KAJIAN ILMIAH

#### 2.1 Sejarah Bendalir Nano

Pemindahan haba bendalir banyak diaplikasikan di dalam industri termasuk dalam pengangkutan, bekalan tenaga, penghawa dingin, penyejuk elektronik dan lain-lain. Pemindahan haba bendalir seperti air, minyak, glikol dan fluorokarbon, bagaimanapun mempunyai prestasi pemindahan haba yang lemah secara semulajadi berdasarkan konduktiviti haba yang rendah. Aktiviti penyelidikan dan pembangunan telah dijalankan untuk membaiki sifat pemindahan haba sesuatu bendalir. Bahan pejal berlogam seperti perak, tembaga dan besi serta bahan bukan berlogam seperti alumina, tembaga oksida ( $CuO$ ), dan tiub karbon nano, mempunyai konduktiviti haba yang lebih tinggi daripada pemindahan haba bendalir. Oleh yang demikian, idea pembaharuan untuk meningkatkan konduktiviti haba dengan menambahkan zarah-zarah pejal kedalam pemindahan haba bendalir sejak Maxwell mengasaskannya pada tahun 1881 (Maxwell, 1873). Pada permulaannya, zarah-zarah pejal bersaiz mikrometer, malahan millimeter dicampurkan ke dalam bendalir asas untuk proses campuran.

Walaupun begitu, zarah-zarah pejal yang besar menyebabkan masalah seperti menghakis permukaan, menghakis dan menyumbatkan saluran paip dan meningkatkan tekanan, dimana membataskan aplikasi praktikal. Sebenarnya, campuran cecair adalah rawatan berdasarkan teori pada asalnya dan kajian seterusnya oleh penyelidik-penyeledik lain mencapai kejayaan yang minima. Saiz zarah yang besar dan masalah dalam menghasilkan zarah yang kecil adalah faktor utama kejayaan minima.

Situasi berubah apabila S.U.S. Choi dan J. Eastman di Argonne National Laboratory mengkaji bidang ini dengan pengembangan zarah berlogam berskala nano dan karbon tiub nano (Choi dan Eastman, 1995; Eastman et al, 1996). Choi dan Eastman telah mencuba untuk mengembangkan pelbagai logam dan logam oksida berzarah nano dalam beberapa bendalir yang berbeza (Choi 1998; Chon et al, 2005; Chon et al, 2006; Eastman et al., 2001; Eastman et al, 1999; Eastman et al, 2004), dan keputusannya adalah seperti yang diharapkan. Meskipun begitu, banyak perkara masih sukar diterjemahkan berkaitan dengan campuran bahan yang berstruktur nano, dimana diistilahkan sebagai bendalir nano oleh Choi dan Eastman. Secara umumnya, bendalir nano adalah terbentuk daripada penyebaran zarah-zarah bersaiz nanometer (1-100 nm) atau titisan-titisan kecil kedalam pemindahan haba bendalir. Zarah-zarah nano mempunyai ciri-ciri yang unik seperti nisbah luas permukaan kepada isipadu yang besar, ciri-ciri fizikal berhubungkait dengan dimensi, dan tenaga kinetik yang rendah, dimana boleh digunakan oleh bendalir nano. Pada masa yang sama, luas permukaan yang besar membuatkan zarah-zarah nano lebih baik dan lebih stabil untuk disebarluaskan ke bendalir asas. Berbanding dengan bendalir mikro atau bendalir milli, bendalir nano adalah lebih stabil, oleh itu bendalir nano lebih berjaya untuk aplikasi praktikal tanpa mengakibatkan masalah-masalah yang telah disebutkan diatas.

Bendalir nano mempunyai ciri-ciri bendalir seperti bendalir asas, bersifat seperti cecair yang tulen dan menyebabkan sedikit masalah dalam tekanan berdasarkan kepada fakta bahawa fasa penyebaran (zarah-zarah nano) adalah terlalu kecil, dimana akan menjadi lebih stabil dalam pengembangan dalam bendalir dengan kehadiran atau tanpa bantuan pemangkin (Xuan dan Li 2003). Karakter yang sangat menarik berkaitan bendalir nano adalah walaupun dengan penambahan kecil kuantiti zarah nano, ia tetap menunjukkan peningkatan dalam konduktiviti haba yang luar biasa iaitu lebih 10 kali ganda daripada ramalan secara teori. Eastman et al (Eastman et al, 2001) melaporkan 40% konduktiviti haba meningkat dalam glikol etilena dengan hanya perambah sebanyak 0.3% isipadu zarah-zarah nano tembaga dengan diameter yang lebih kecil daripada 10nm. Pengujian pada perolakan pemindahan haba bagi bendalir nano telah dijalankan oleh beberapa kumpulan penyelidik (Buongiorno 2006; Chein dan Huang, 2005; Etemad et al, 2006; Kim et al. 2004; Said dan Agarwal, 2005; Xuan dan Li, 2003). Hasil penyelidikan menunjukkan pembedaan yang penting dalam kadar pemindahan haba bagi bendalir nano. Sementara itu, peningkatan konduktiviti haba bendalir nano menunjukkan sifat berhubungkait dengan suhu, peningkatan dengan meningkatnya suhu, dimana membuatkan bendalir nano lebih sesuai untuk penggunaan pada suhu yang ditingkatkan (Das et al. 2003c; Yang dan Han 2006a).

Fenomena menarik yang lain berkaitan bendalir nano ialah walaupun kepekatan yang tersangat rendah pada zarah nano yang kecil akan meningkatkan pelakuran/fluks haba kritikal (Critical Heat Flux, CHF) dalam sistem pemanasan kolam (Das et al, 2003a; Wend an Ding, 2005b; You et al, 2003). Ciri-ciri pengangkutan haba bendalir nano yang telah diperbaiki akan memperbaiki kecekapan penukaran haba, mengecilkan saiz sistem, menjimatkan kuasa pam, mengurangkan kos operasi dan memberikan margin keselamatan yang lebih baik. Ciri-ciri bendalir nano yang lebih baik mungkin diperolehi jika kualiti yang lebih tinggi dan zarah-zarah nano disebarluaskan secara mono. Sementara itu, bendalir nano dengan isipadu pecahan pengembangan nano bendalir yang rendah menyebabkan hampir tiada tambahan untuk kuasa pam (contoh: peningkatan kelikatan adalah kecil).

Walaubagaimanapun, kerja penyelidikan pada bendalir nano adalah hanya di peringkat awal. Lebih banyak penyelidikan diperlukan untuk kefahaman yang lebih mendalam berkaitan konduktiviti haba dan peningkatan dalam perolakan pemindahan haba dalam bendalir nano. Sesetengah model yang berdasarkan teori semasa menyatakan konduktiviti haba meningkat kepada konduktiviti pejal yang tinggi. Tetapi Chen (Chen, 1996; Chen et al, 2004) membahaskan bahawa apabila saiz zarah adalah kecil daripada laluan pembawa haba (elektron, fonon, atau molekul), pengangutan pembawa haba ialah balistik atau tidak setempat dan hukum Fourier adalah tidak boleh digunakan. Padahal, konduktiviti haba menurun dengan mendadak dengan pengurangan saiz zarah.

Data yang sangat terhad telah menunjukkan bahawa konduktiviti haba bendalir nano berkadar songsang dengan saiz zarah – dengan penurunan saiz zarah, keberkesanan konduktiviti haba bendalir nano menunjukkan peningkatan, dimana bercanggah dengan fakta logik iaitu konduktiviti haba berhubungkait dengan saiz zarah nano dan demikian, satu penyelidikan berkaitan dengan kesan konduktiviti haba zarah pada sifat haba bendalir nano adalah perkara penting. Pada masa yang sama, dengan pengurangan saiz zarah, luas antara permukaan diantara zarah-zarah dan bendalir asas meningkat dengan mendadak supaya rintangan antara permukaan (rintangan Kapitza) boleh dipertimbangkan. Belum ada penyelidikan dan ujikaji yang sistematik berkenaan saiz berhubungkait dengan konduktiviti dilaporkan.

Satu penyelidikan berkenaan kesan saiz zarah yang berbeza pada peningkatan konduktiviti haba adalah perlu sebelum prestasi yang baik berkaitan bendalir nano boleh dihasilkan secara sintesis. Selain itu, luas antara permukaan yang besar diantara zarah-zarah nano dengan bendalir asas meningkatkan kadar pemindahan haba, oleh itu kepingan nano, batang nano dan wayar nano, dimana mempunyai luas permukaan yang besar, barangkali berfaedah untuk meningkatkan konduktiviti haba bendalir nano.

Banyak mekanisme telah dicadangkan untuk menerangkan konduktiviti haba yang meningkat dalam bendalir nano. Di antara model-model berikut, model terkenal iaitu model Hamilton-Crosser (HC) adalah berdasarkan pada model Maxwell, dan kedua-dua model tersebut hanya mempertimbangkan bahagian isipadu dan geometri zarah-zarah (Hamilton dan Crosser, 1962a; Hamilton dan Crosser, 1962b). Model HC menunjukkan penerangan yang baik berkenaan sistem dengan zarah-zarah yang bersaiz besar dan mikrometer, tetapi gagal untuk mengurangkan ukuran konduktiviti haba bendalir nano. Baru-baru ini, Kebblinski et al (Kebblinski et al, 2005; Kebblinski et al, 2002) memperkenalkan empat kemungkinan mekanisme dalam bendalir nano dimana boleh menyumbang kepada konduktiviti haba:

- i. Pergerakan Brownian zarah-zarah nano.
- ii. Lapisan cecair pada cecair/ permukaan zarah.
- iii. Kesemulajadian pengangkutan haba dalam zarah nano.
- iv. Pengumpulan zarah-zarah nano dalam bendalir nano.

Ini menunjukkan pergerakan Brownian zarah-zarah nano adalah terlalu perlahan untuk memindahkan sebilangan penting haba melalui bendalir nano secara langsung, meskipun begitu, adanya peranan penting yang tidak langsung untuk menghasilkan persekitaran perolakan seperti mikro disekitar zarah-zarah nano dan zarah berkumpul untuk meningkatkan pemindahan haba, kehadiran lapisan molekul cecair yang berhubung dan disusun seolah-olah tidak berperanan semata-mata untuk meningkatkan konduktiviti haba, terutamanya apabila mekanisme kerja hanya berjaya bila saiz zarah adalah lebih kecil daripada 10 nm, zarah-zarah nano yang berkumpul mempunyai kedua-dua kesan positif dan negatif pada peningkatan konduktiviti haba. Walaupun mekanisme-mekanisme ini boleh menjelaskan sifat haba pada bendalir nano sebahagiannya, lebih pengujian yang menyakinkan dan menyeluruh serta penyiasatan secara teori amat diperlukan dalam menyiasat bendalir nano yang baru dengan prestasi haba yang lebih bagus. (Bai dan Lu, 2003; Chen et al, 2006; Inaba et al, 2007)

Kebanyakkan penyelidikan pada bendalir nano adalah untuk meningkatkan konduktiviti haba dan sifat-sifat pengangkutan haba yang lain, kapasiti haba dan kelikatan kurang diberi perhatian. Sebenarnya kefungsian bendalir haba, termasuk kepekatan atau emulsi dan pengembangan berada di kelas baru pemindahan haba dengan sifat-sifat pengangkutan haba yang telah diperbaiki (Bai dan Lu, 2003; Chen et al, 2006; Inaba et al, 2007). Salah satu kelebihan kefungsian bendalir haba yang utama ialah ia boleh dicipta khas untuk memenuhi objektif-objektif khusus, seperti konduktiviti haba ditingkatkan, kapasiti penstoran tenaga haba yang tinggi, pekali pemindahan haba yang tinggi, fluks atau pelakuran haba kritikal yang tinggi, penstabilan suhu yang lebih baik dan penurunan tekanan yang sedikit dan lain-lain lagi. Penggunaan ‘Phase Change Materials’ (PCMs) sebagai peringkat-peringkat penyebaran dalam peringkat yang berterusan (bendalir asas) menarik perhatian yang lebih – dengan mengambil kelebihan di peringkat perubahan haba pendam (Lantent Heat) pada PCMs, keberkesanan kapasiti haba pada bendalir ditingkatkan ketika sifat-sifat bendalir pada bendalir masih kekal sama.

Keberkesanan yang menggunakan PCMs adalah air, logam-logam yang mempunyai kadar pencairan yang rendah, sebatian garam dalam air, asid lemak, esters, polietelina glikol dan parafins. Mikro yang terkandung di dalam PCMs membekalkan sistem penstoran haba mudah alih, dengan membalut PCMs yang bersaiz microscopic dengan lapisan pelindung, zarah-zarah boleh mengembang dengan peringkat yang berterusan seperti minyak enjin. Dengan penggunaan zarah-zarah nano PCMs dengan konduktiviti haba yang tinggi, kapasiti haba bendalir nano diharap boleh dipertingkatkan lagi dan begitu juga dengan konduktiviti haba. (Bai dan Lu, 2003; Chen et al, 2006; Inaba et al, 2007)

## 2.2 Kajian Ilmiah

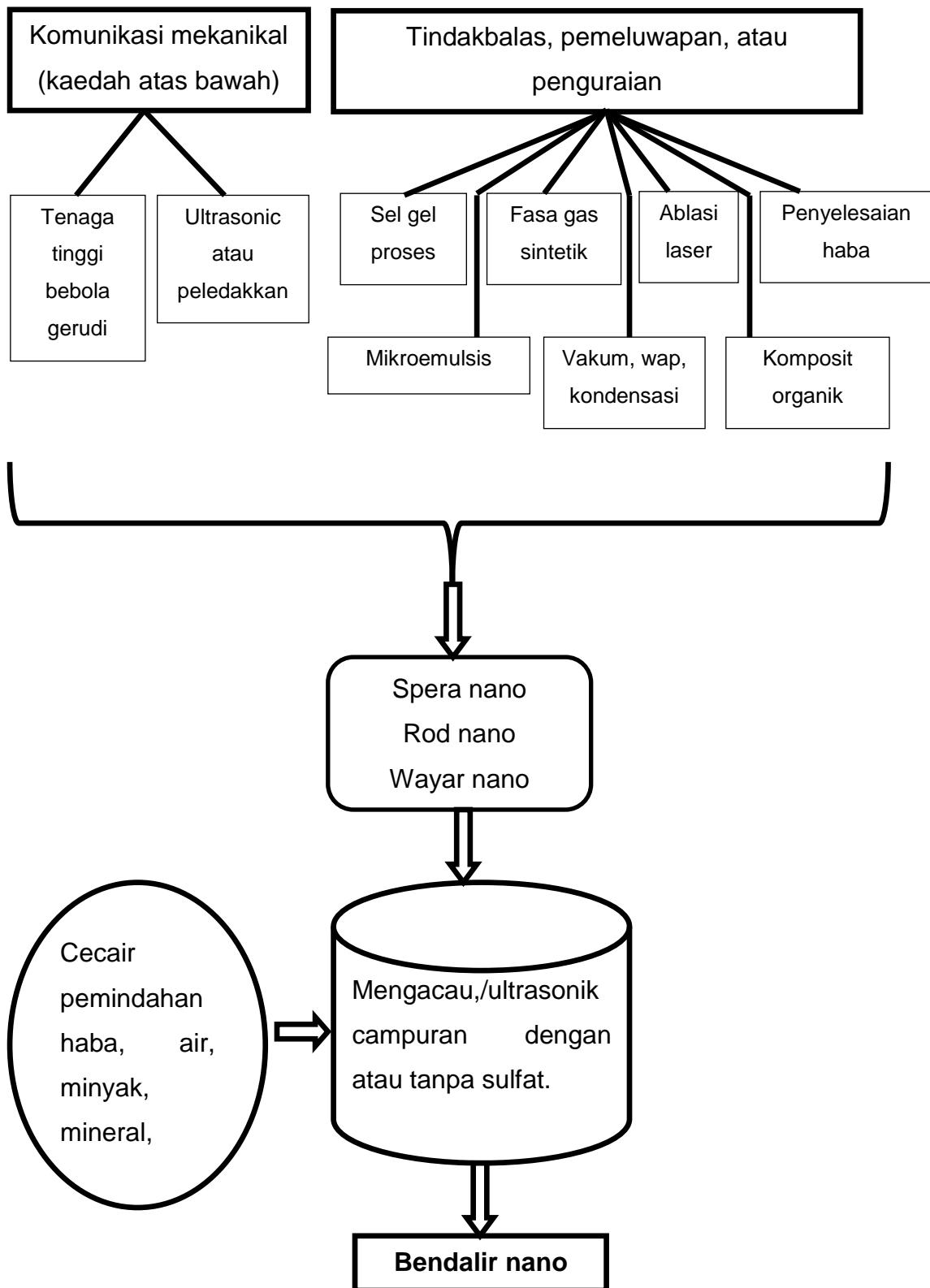
Zarah-zarah nano mempunyai potensi yang besar untuk membaiki sifat-sifat pengangkutan haba pemindahan haba bendalir dengan lebih berkesan berbanding zarah-zarah bersaiz mikrometer dan milimeter. Ini adalah berdasarkan kepada zarah-zarah nano atau struktur-struktur nano yang terlalu kecil, dimana tidak hanya membaiki kestabilan dan kepenggunaan campuran cecair, tetapi juga meningkatkan (SSA) luas permukaan spesifik dan mobiliti penyebaran gerakan Brownian zarah-zarah nano. Tambahan lagi, zarah-zarah nano yang terlalu kecil memberikan bendalir nano satu potensi untuk digunakan dalam penyaman elektronik dan ‘microchannel’ bersaiz mini, dimana zarah-zarah yang besar sama ada menyebabkan saluran-saluran tersumbat atau mengelakkan bendalir dialir terlalu cepat.

## **2.3 Sintesis Bendalir Nano**

Pelbagai jenis kombinasi struktur nano dan pemindahan haba bendalir boleh digunakan untuk menghasilkan bendalir nano yang stabil secara sintesis dengan ciri-ciri pengangkutan haba yang telah dibaiki. Struktur-struktur nano yang diperbuat daripada logam, oksida, karbida dan karbon nano tiub boleh disebarluaskan kedalam pemindahan haba bendalir seperti air, glikol etilena, hidrokarbon dan fluorokarbon dengan atau tanpa kehadiran agen penstabil. Dalam kebanyakkan kajian eksperimen, bendalir nano disintesis dengan dua langkah proses (Assael et al, 2004; Bang dan Heung Chang, 2005; Choi, 1998; Hwang et al, 2006; Kim et al, 2006a; Kim et al, 2004a; Ma et al, 2006; Maiga et al, 2004), iaitu langkah pertama ialah hubungan mekanikal, tindakbalas kimia, kondensasi wap atau penguraian komplek organik manakala kaedah kedua pula ialah pemindahan haba bendalir dengan kocakan atau kacauan mekanikal atau kation ultrasonik (Hwang et al, 2008; Li et al, 2008).

### **2.3.1 Kaedah pertama : Hubungan mekanikal, tindakbalas kimia, kondensasi wap atau penguraian komplek organic**

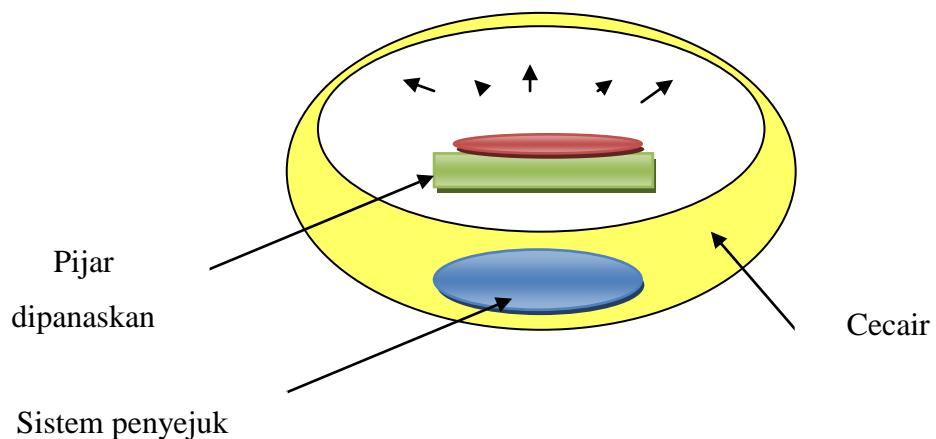
Kaedah pertama iaitu kaedah klasik mengenai bendalir nano, seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.1.



Rajah 2.1: Dua langkah proses penghasilan bendalir nano (Zenghu Han. 2008)

Apabila diserap kedalam permukaan zarah pepejal, molekul-molekul pemangkin boleh menghasilkan satu halangan untuk mengelakkan kumpulan zarah-zarah nano berkumpul dan menghasilkan keterlarutan bagi zarah-zarah dalam bendalir asas, oleh itu bendalir nano yang telah dihasilkan ini boleh mempertahankan kestabilan tanpa proses pemendakan untuk beberapa bulan mahupun tahun. Zarah-zarah nano yang terokksida adalah digunakan untuk pertama kalinya dalam bendalir nano kerana ia senang untuk dihasilkan, stabil secara kimia dan senang disebarluaskan ke dalam air berdasarkan kepada permukaan ‘hidro filik’.

Timbunan dapat dikurangkan dalam kaedah langkah pertama dengan menggabungkan proses sintesis dan proses penyebaran yang berikutnya ke dalam langkah tunggal. Pendekatan langkah pertama dikesan oleh Yatsuya et al. (Yatsuya et al, 1978), dan seterusnya diperbaiki oleh Wagener et al. (Wagener dan Gunther, 1999) dan Eastman et al. (Eastman et al, 1996). Kaedah langkah pertama ini menggunakan teknik kondensasi penyejatan secara langsung (Direct Evaporation Condensation, DEC) dimana ia adalah proses kondensasi gas lengai yang diubahsuai yang telah digunakan dalam ANL (Eastman, 1998; Eastman et al, 1996; Eastman et al, 2001). Skematik kaedah ini ditunjukkan dalam rajah 2.2.



Rajah 2.2 : Rajah skematik sistem penghasilan bendalir nano, (Eastman et al, 2001)

Berikut adalah empat langkah dalam kaedah pertama :

1. Satu silinder yang mengandungi bendalir pemindahan haba seperti air atau glikol etelina berputar oleh itu selaput nipis bendalir boleh dipindahkan melalui ruang secara tetap.
2. Satu keping bahan berlogam sebagai sumber zarah nano disejat oleh pemanasan dalam periuk pelebur logam.
3. Zarah-zarah yang disejat menghubung bendalir diudara dan mengeluwap sebagai zarah-zarah nano.
4. Bendalir disejukkan pada dasar ruang untuk mengelakkan mana-mana penyejatan yang tidak diingini dalam bendalir.

Kehadiran pemangkin dalam cecair boleh menahan penimbunan zarah-zarah nano dengan lebih jauh. Kelebihan utama proses ini ialah:

1. Membolehkan penghasilan zarah-zarah nano tanpa lapisan oksida yang kurang pengaliran dan yang tidak diingini, dimana meningkatkan rintangan haba antara zarah-zarah dan cecair.
2. Saiz zarah nano yang dihasilkan adalah kecil, iaitu kurang daripada 10nm dan saiz taburan zarah adalah dalam lingkungan yang sempit.
3. Hasil zarah-zarah nano adalah tinggi berdasarkan kadar penyejatan yang tinggi.
4. Timbunan zarah-zarah nano dikurangkan dan bendalir nano menjadi sangat stabil.

Meskipun begitu, kaedah ini ada hadnya dimana bendalir asas mesti mempunyai tekanan wap yang rendah (kebiasaananya dibawah 1 torr), dan pengoksidaan boleh berlaku pada permukaan zarah-zarah berlogam yang tulen. Tekanan wap bendalir yang tinggi mungkin membawa kepada pengumpulan zarah-zarah nano dengan jelas.

### **2.3.2 Kaedah kedua : pemindahan haba bendalir dengan kocakan atau kacauan mekanikal atau kation ultrasonic**

Kaedah sintesis bendalir nano yang lain ialah kaedah ‘ablation’ laser yang telah digunakan untuk menghasilkan bendalir nano alumina (Tran dan Soong, 2007). Sintesis kimia tulen juga merupakan salah satu pilihan dimana digunakan oleh Patel untuk menghasilkan zarah-zarah nano emas dan perak dalam bendalir nano (Patel et al, 2003) Zhu et al juga menggunakan kaedah sintesis kimia tulen 1-langkah untuk menyediakan bendalir nano yang berzarah nano kuprum disebarluaskan ke dalam glikol etilena (Zhu et al, 2004). Secara umumnya, empat kaitan utama mengenai sintesis bendalir nano,

- i. Penyebaran zarah-zarah nano,
- ii. Kestabilan zarah-zarah nano dalam bendalir asas,
- iii. Kesesuaian kimia zarah-zarah nano dan bendalir asas, dan
- iv. Kestabilan haba bendalir nano.

Empat peraturan utama ini boleh digunakan sebagai panduan dalam pembangunan kaedah sintesis yang baru dalam bendalir nano.

## **2.4 Pemindahan Haba Dalam Bendalir Nano**

Seperti yang sedia maklum, ada tiga cara mengangkut tenaga haba iaitu pengaliran, perolakan dan radiasi. Didalam bahagian ini, pemindahan haba didalam sistem bendalir nano hanya membincangkan proses pengaliran dan perolakan sahaja.

#### 2.4.1 Pengaliran haba dalam bendalir nano

Penyelidik pertama yang mengkaji penyebaran zarah-zarah nano oksida dalam air adalah pada tahun 1993, Masuda et al. (Masuda et al, 1993) telah menyebarkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zarah-zarah nano yang berdiameter 13 nm kedalam air dengan pecahan isipadu sehingga 4.3% dan memperolehi peningkatan dalam konduktiviti haba sebanyak 30%. Eastman et al. (Eastman et al, 1996) juga melaporkan peningkatan 30% dalam konduktiviti haba dalam pengembangan air yang mempunyai zarah-zarah nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan diameter purata 33 nm, pada pecahan isipadu 5% Wang et al. (Wang et al, 2003b) mengkaji kesan proses sintesis pada konduktiviti haba air berasaskan bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Mereka menjumpai teknik-teknik penyebaran yang tiada kesan ketara pada ukuran peningkatan konduktiviti haba, manakala penambahan pemangkin polimer boleh menurunkan konduktiviti haba. Alasannya ialah walaupun penambahan pemangkin boleh membuatkan zarah-zarah nano disebarluaskan dengan lebih baik, molekul-molekul polimer menyelaputi ke dalam permukaan zarah-zarah nano sebenarnya meningkatkan rintangan haba antara permukaan.

Selain  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , penyiasatan oksida dengan lebih mendalam tentang  $\text{CuO}$  berdasarkan ketinggian konduktiviti haba dan mudah disediakan. Eastman et al. (Eastman et al, 1996) mengkaji peningkatan konduktiviti haba bagi penyebaran zarah-zarah nano  $\text{CuO}$  bersaiz/berdiameter 36 nm dalam air dan menjumpai bahawa peningkatan adalah berkadar terus dengan kepekatan zarah. Peningkatan konduktiviti haba diukur dengan anggaran 60% pada kepekatan 5% isipadu zarah-zarah nano  $\text{CuO}$ , dengan nyata sekali lebih tinggi daripada 30% peningkatan yang telah diukur dalam  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -dalam-air bendalir nano pada kepekatan yang sama. Ini adalah berdasarkan fakta bahawa  $\text{CuO}$  mempunyai konduktiviti haba pada asasnya lebih tinggi daripada  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Lee et al. (Lee et al, 1999) juga memperolehi keputusan yang sama dengan bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah  $\text{CuO}$  dalam kedua-dua air dan ‘glikol etilena’. Mereka menemui pengangkutan yang lebih baik dalam bendalir nano  $\text{CuO}$  berbanding dalam bendalir nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Zarah-zarah nano  $\text{TiO}_2$  juga digunakan dalam bendalir nano. Murshed et al. (Murshed et al, 2005) mengukur konduktiviti haba bendalir nano aqueous yang mengandungi kedua-dua zarah nano  $\text{TiO}_2$  berbentuk silinder dan sfera. Beliau menjumpai bendalir nano yang mengandungi 15 nm zarah-zarah nano berbentuk sfera menunjukkan peningkatan yang sedikit rendah berbanding rod nano 40nm dan 10nm. Peningkatan setinggi 33% telah dicapai dalam bendalir nano yang berisipadu 5% dari rod-rod nano  $\text{TiO}_2$  berbentuk silinder, lebih tinggi daripada yang dijangkakan oleh model HC. Pak dan Cho (Pak dan Cho, 1998) menyebarkan zarah-zarah nano  $\text{TiO}_2$  27 nm kedalam air untuk menghasilkan bendalir nano. Peningkatan konduktiviti haba diukur untuk menjadi 10.7% pada 4.35% kepekatan  $\text{TiO}_2$ , lebih rendah daripada peningkatan 32% bendalir nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada kepekatan yang sama bagi zarah-zarah pepejal. Alasannya ialah konduktiviti haba  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah lebih tinggi daripada  $\text{TiO}_2$ . Peningkatan yang maksima bagi konduktiviti haba yang telah diukur untuk bendalir nano mengandungi zarah-zarah nano oksida logam yang telah diringkaskan dalam Jadual 2.1.

Jadual 2.1 : Peningkatan maksima konduktiviti haba menggunakan bendalir asas air, glikol etilena dan minyak mineral. (Zenghu Han, 2008)

Rujukan	Bendalir asas	Diameter dan partikal nano (nm)	Kepekatan maximum (vol.%)	Peningkatan maksima (%)
Masuda (Masuda et al, 1993)	Air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 13	4.3	30
Eastman (Eastman et al, 1996)	air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 33	5	30
Pak (Pak and Cho, 1998)	Air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 13	4.3	32
Wang (Wang et al, 1999)	Air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 28	4.5	14
Wang (Wang et al, 1999)	Etilina glikol	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 28	8	40
Wang (Wang et al, 1999)	Minyak sawit	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 28	7	20
Wang (Wang et al, 1999)	Minyak enjin	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 28	7.5	30
Lee (Lee et al, 1999)	Air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 24.4	4.3	10
Lee (Lee et al, 1999)	Etilina glikol	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 24.4	5	20
Das (Das et al, 2003c)	Air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 38	4	25
Xie (Xie, 2002)	air	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 60	5	20
Xie (Xie, 2002)	Etilina glikol	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 60	5	30

Rujukan	Bendarir asas	Diameter dan partikal nano (nm)	Kepekatan maximum (vol.%)	Peningkatan maksima (%)
Xie (Xie, 2002)	Minyak sawit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 60	5	40
Prasher (Prasher et al, 2005)	Air	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 10	0.5	100
Krishnamurthy (Krishnamurthy et al, 2006)	Air	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 20	1	16
Eastman (Eastman et al, 1996)	Air	CuO, 36	5	60
Lee (Lee et al, 1999)	Air	CuO, 18.6	4.3	10
Lee (Lee et al, 1999)	Etilina glikol	CuO, 18.6	4	20
Wang (Wang et al, 1999)	Air	CuO, 23	10	35
Wang (Wang et al, 1999)	Etilina glikol	CuO, 23	15	55
Liu (Liu et al, 2006)	Etilina glikol	CuO, 25	5	22.4
Das (Das et al, 2003c)	Air	CuO, 28.6	4	36
Pak (Pak and Cho, 1998)	Air	TiO <sub>2</sub> , 27	4.35	10.7
Murshed (Murshed et al, 2005)	Air	TiO <sub>2</sub> , 15	5	33

Zarah-zarah nano berlogam mempunyai konduktiviti haba yang lebih tinggi daripada oksida, oleh itu secara teorinya, kepekatan zarah-zarah nano berlogam yang lebih rendah diperlukan dalam mencapai taraf yang sama dengan peningkatan konduktiviti haba, atau pada kepekatan zarah-zarah nano yang sama, peningkatan yang lebih tinggi boleh diperolehi berbanding dengan bendarir nano oksida. Walaupun tidak banyak kajian yang dijalankan pada bendarir nano yang mengandungi zarah-zarah nano berlogam seperti dalam bendarir nano yang mengandungi oksida, keputusannya telah menunjukkan keputusan yang memberangsangkan, seperti contoh: sehingga 45% peningkatan dalam konduktiviti haba yang telah diperhatikan melalui tambahan isipadu kurang daripada 0.055 % zarah-zarah Cu 35 nm ke dalam pam minyak (Eastman et al, 1996).

Eastman et al. (Eastman et al, 2001) menjumpai peningkatan konduktiviti haba sebanyak 40 % dalam EG yang mengandungi isipadu kurang daripada 0.3 % zarah-zarah nano Cu. Xuan et al. (Xuan dan Li, 2000) menyediakan bendalir nano dengan mencampurkan serbuk-serbuk nano Cu secara langsung dengan air dan minyak. Bendalir nano yang mereka kaji adalah lebih pekat daripada kajian oleh Eastman et al, meskipun begitu, peningkatan konduktiviti haba adalah setanding. Kepekatan zarah nano Cu pada isipadu 75 %, mereka dapat mencapai peningkatan 75 % dan 45 % dalam air dan minyak transformer yang berasaskan bendalir nano. Bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah nano emas (Au) dan perak (Ag) juga telah dihasilkan dan diukur (Patel et al, 2003).

Peningkatan dalam konduktiviti haba telah dikaji sebagaimana peningkatan suhu. Suhu pada 60 °C, peningkatan dalam konduktiviti haba ialah 88% dalam bendalir nano toluene yang kepekatan zarah nano Au adalah berisipadu 0.011%. Walaupun Ag mempunyai konduktiviti haba yang lebih tinggi daripada emas (429 W/m.K untuk Ag dan 317 W/m.K untuk Au), bendalir nano Ag menunjukkan peningkatan konduktiviti haba yang lebih kecil daripada bendalir nano Au. Alasannya ialah zarah-zarah nano Ag yang disebarluaskan ke dalam air adalah susunan magnitude yang lebih besar daripada zarah-zarah nano emas yang disebarluaskan kedalam air dan toluene. Hong et al. (Hong et al. 2006; Hong et al. 2005) menyebarkan zarah-zarah nano ferum 10 nm kedalam glikol etilena dan peningkatan konduktiviti haba diukur untuk mengkaji kesan kedua-dua masa ultrasonication dan masa penstoran. Anggaran 18% peningkatan dalam konduktiviti haba telah didapati pada kepekatan isipadu 0.55%. Ini menunjukkan keputusan yang lebih rendah berbanding dengan keputusan Eastman yang didapati dalam bendalir nano dan ini disebabkan oleh konduktiviti haba ferum yang rendah. Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba untuk bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah nano berlogam telah diringkaskan dalam Jadual 2.2

Jadual 2.2 : Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba menggunakan bendalir asas air, glikol etilena dan minyak mineral. (Zenghu Han. 2008)

Rujukan	Bendalir piawai	Partikal nano dan diameter (nm)	Kepekatan maksima (vol. %)	Peningkatan maksima, k (%)
Eastman (Eastman et al, 1996)	Minyak kelapa	Cu, 35	0.055	45
Xuan (Xuan dan Li, 2000)	Air	Cu, 100	7.5	75
Xuan (Xuan dan Li, 2000)	Penukaran minyak	Cu, 100	7.5	45
Eastman (Eastman et al, 2001)	Glikol etilina	Cu, 10	0.2	40
Patel (Patel et al, 2003)	Toluene	Au, 15	0.011	8.8
Patel (Patel et al, 2003)	Air	Au, 15	0.00026	8.3
Patel (Patel et al, 2003)	Air	Ag, 70	0.001	4.5
Hong (Hong et al, 2006; Hong et al, 2005)	Gliko etilina	Fe, 10	0.55	18

Sehingga kini, peningkatan konduktiviti haba bendalir nano yang lebih besar telah dikaji dalam karbon tiub nano dalam bendalir nano PAO (Choi et al, 2001). Peningkatan konduktiviti haba meningkat kepada 160% telah dikaji pada isipadu 1 % muatan CNT. Peningkatan konduktiviti haba meningkat sebagai fungsi muatan MWCNTs (multi wall carbon nanotube) dalam laluan tidak mendatar, menunjukkan bahawa interaksi antara tiub individu memainkan peranan yang penting dalam pengangkutan haba. Penyelidikan secara teori dan experimen telah mendedahkan bahawa CNTs mempunyai konduktiviti haba membujur yang lebih daripada 3000 W/m.K (Berber et al, 2000; Che et al, 2000; Ruoff dan Lorents, 1995), hampir menyamai intan berlian dan melebihi susunan magnitud yang lebih daripada oksida dan logam.

Pergabungan antara ketumpatan yang rendah (~0.2 g/cm<sup>3</sup>), nisbah aspek yang tinggi dan senang diperolehi, CNT seperti calon yang menarik yang digunakan dalam aplikasi bendalir nano. Sebenarnya CNTs telah digunakan berdekad yang lalu dalam campuran untuk meningkatkan konduktiviti haba dalam bahan pepejal. Seperti contoh, Biercuk et al. (Biercuk et al, 2002) melaporkan 70 % peningkatan konduktiviti haba dalam industry epologi dengan menambah 1 wt % SWCNTs yang kotor dan mereka menyifatkan peningkatan abnormal ini kepada konduktiviti haba yang tinggi dan aspek CNTs yang tinggi. Penyelidik-penyalidik yang lain juga mengkaji bendalir nano yang mengandungi CNTs, berasaskan minyak, glikol atau air; walaupun begitu, mereka belum menemui keputusan yang diluar jangkaan yang standing dengan keputusan Choi. Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba untuk bendalir nano yang mengandungi CNTs telah diringkaskan dalam Jadual 2.3.

Jadual 2.3 : Ukuran maksima peningkatan konduktiviti haba mengandungi karbon nanotub, bendalir asas ialah air, glikol etilena dan minyak mineral. (Zenghu Han, 2008)

Rujukan	Bendalir piawai	Jenis CNT	Kepekatan maksima, (vol. %)	Peningkatan maksima, k (%)
Choi (Choi et al, 2001)	PAO	MWCNTs	1	160
Xie (Xie t al, 2003)	Air	MWCNTs	1	6
Xie (Xie t al, 2003)	Glikol etilina	MWCNTs	1	12
Xie (Xie t al, 2003)	Decene	MWCNTs	1	20
Wen (Wen and Ding, 2004b)	Air	MWCNTs	0.84	21
Yang (Yang et al, 2006)	PAO	MWCNTs	0.35	200
Assael (Assael et al, 2004. Assael et al, 2005)	Air	DWCNTs	1	8
Assael (Assael et al, 2004. Assael et al, 2005)	Air	MWCNTs	0.6	34
Liu (Liu et al, 2005)	Minyak sintetik	MWCNTs	2	30
Liu (Liu et al, 2005)	Glikol etilina	MWCNTs	1	12.4

\*MWCNT = pelbagai dinding karbon nano tiub

\*DWCNT = dua kali ganda dinding karbon nano tiub

Malahan karbida telah digunakan untuk mensintesiskan bendalir nano. Xie et al. (Xie et al, 2002) menyebarkan zarah-zarah SiC berbentuk sfera dengan diameter purata 26 nm (SiC-26) dan zarah-zarah SiC berbentuk silinder dengan diameter purata 600 nm (SiC-600) kedalam air yang telah disulingkan (Di-H<sub>2</sub>O) dan glikol etilena (EG) secara berasingan pada pecahan isipadu sehingga isipadu 4.2 %. Dalam penyebaran Di-H<sub>2</sub>O, konduktiviti haba boleh ditingkatkan sebanyak 15.8 % pada pecahan isipadu sebanyak 4.2 %. Untuk SiC-600 dalam Di-H<sub>2</sub>O, konduktiviti haba boleh ditingkatkan oleh 22.9 % pada pecahan isipadu 4 %. Ini menunjukkan nisbah aspek yang tinggi bagi zarah-zarah nano sangat membantu untuk pemindahan haba dalam bendalir nano, walaupun sifat ini perlu diberi penjelasan.

Berdasarkan artikel penyelidikan, seolah-olah bahan zarah, saiz zarah, suhu operasi, konduktiviti haba atau nilai pH bendalir asas akueus mempunyai kesan pada peningkatan konduktiviti haba dalam bendalir nano. (Das et al, 2003a; Das et al, 2003c) adalah kumpulan pertama yang mengkaji suhu yang bergantung kepada peningkatan konduktiviti haba dalam bendalir nano. Dengan penyebaran zarah-zarah nano yang berdiameter minimum 38 nm dalam air, mereka menghasilkan bendalir nano dengan kepekatan daripada isipadu 1 % hingga 4 % dan seterusnya mereka mengukur konduktiviti haba bendalir nano ini pada suhu yang berbeza daripada 21 °C hingga 51°C. Mereka mendapati bahawa apabila suhu meningkat, peningkatan konduktiviti haba juga meningkat secara terus/linear bergantung kepada kepekatan zarah-zarah nano. Xie et al. (Xie, 2002) juga melaporkan bahawa nilai pH bendalir asas, begitu juga saiz zarah nano memberi kesan peningkatan konduktiviti haba Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam air, glikol etilena dan minyak pam bendalir nano. Seolah-olah peningkatan konduktiviti haba menurun dengan meningkatnya nilai pH, dan apabila konduktiviti haba bendalir asas meningkat, peningkatan akan menurun. Prasher et al. (Prasher et al, 2006b) menjumpai peningkatan maksima 100 % pada 85 °C untuk zarah-zarah nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 nm dalam air pada hanya kepekatan isipadu 0.5% iaitu lebih tinggi daripada keputusan yang dilaporkan oleh penyelidik-penyalidik lain dan mereka menyampaikan keputusan yang diluar jangkaan dengan zarah-zarah nano yang bersaiz kecil dan suhu yang lebih tinggi.

Kajian yang menarik yang lain dijalankan oleh Patel et al. (Patel et al, 2003) dengan menyebarkan zarah-zarah nano emas dan perak 10 nm hingga 20 nm yang diselaputi lapisan-lapisan mono polymer dalam air an toluene. Pada kepekatan yang terlampaui rendah (dibawah 0.011 % untuk emas) dan (dibawah 0.001 % untuk perak), ia boleh membuktikan peningkatan konduktiviti haba 3 % hingga 10 %. Li dan Peterson (Li dan Peterson, 2006) mencampurkan zarah-zarah nano CuO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berdiameter 29 nm dan 36 nm dalam air yang disulungkan pada pecahan isipadu yang berbeza daripada 2 % hingga 10 %. Ciri-ciri pengangkutan haba diukur pada suhu daripada 27.5 °C hingga 34.7 °C. Keputusan mereka menunjukkan konduktiviti haba zarah-zarah nano, saiz zarah, pecahan isipadu dan suhu, semuanya mempunyai kesan penting pada konduktiviti haba bendalir nano yang efektif. Pada 34°C, pengembangan air berzarah nano CuO isipadu 6 % menunjukkan konduktiviti haba meningkat 1.52 kali ganda daripada air yang disulungkan, sementara pengembangan isipadu 10 % zarah-zarah nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meningkatkan konduktiviti haba dengan faktor 1.3.

Kumpulan Kumar (Kumar et al, 2004) membina satu model secara teori yang menyeluruh untuk menerangkan peningkatan konduktiviti haba dalam bendalir nano. Ketahanan suhu dimodelkan dengan mengambilkira saiz zarah, kepekatan dan suhu. Ramalan secara teori dengan model masing-masing bersetuju dengan data eksperimen pada ukuran konduktiviti haba bendalir nano.

### 2.4.2 Perolakan haba dalam bendalir nano

Perlu diperingatkan bahawa peningkatan dalam konduktiviti haba sendiri adalah tidak cukup untuk membuktikan bendalir nano telah membaiki ciri-ciri pengangkutan haba dan prestasi bendalir nano dalam persekitaran perolakan adalah bukti yang kukuh untuk mentaksir bendalir nano. Ujian perolakan bendalir nano dijalankan buat pertama kalinya didalam keadaan daya perolakan. Eastman et al. (Eastman et al, 1996) melaporkan lebih daripada 15 % meningkat dalam koefisien pemindahan haba dalam isipadu 0.9 % bendalir nano CuO-dalam-air berbanding air tulen yang tidak mengandungi zarah-zarah nano. Xuan dan Li (Xuan dan Li, 2000; Xuan dan Roetzel, 2000) menghasilkan air berdasarkan bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah nano Cu dan mengukur koefisien pemindahan haba perolakan. Ini menunjukkan bahawa penambahan kuantiti yang kecil zarah-zarah nano (isipadu < 2%) dapat memperbaiki pemindahan haba haba perolakan dalam air dalam lingkungan nombor Reynold antara 10,000 dan 25,000. Nombor Nusselt bendalir nano yang mengandungi isipadu 2 % zarah-zarah Cu menunjukkan > 39 % meningkat berbanding air tulen.

Tambahan lagi, Nombor Nusselt bendalir nano berdasarkan air meningkat dengan peningkatan muatan zarah dan Nombor Reynold. Hubungkait Dittus-Boelter gagal untuk menjelaskan koefisien pemindahan haba bendalir nano. Meskipun begitu, peningkatan kepekatan bendalir nano mungkin mempunyai kesan negatif pada perolakan pemindahan haba, contoh, Pak dan Cho (Pak dan Cho, 1998) menjumpai koefisien perolakan pemindahan haba bendalir nano berdasarkan air mempunyai 3 % isipadu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dikurangkan sebanyak 12 % berbanding air tulen. Dalam kajian Wend an Ding (Wend dan Ding, 2004a), pemindahan haba laminar pada kawasan kemasukan bendalir nano alumina-dalam-air yang mengalir melalui tube. Kepekatan bendalir nano telah dianggarkan berdasarkan kepada Formula Einstein. Bagi bendalir nano yang mengandungi isipadu 1.6 % zarah-zarah nano, didapati koefisien pemindahan haba ditambah oleh 41 %.

Begitu juga dengan hubungkait dalam aliran yang bergelora atau turbulen, hubungkait klasik Shah gagal untuk meramalkan pemindahan haba perolakan bendalir nano. Ding dan Wen (Ding dan Wen, 2005a; Wen et al, 2005) dalam penyelidikanya menyatakan, pemindahan haba perolakan bendalir nano CNTs dalam kawasan aliran laminar pada fluks haba tetap. Konduktiviti haba bendalir nano CNTs meningkat dengan peningkatan muatan dan suhu CNTs.

Perolakan yang semulajadi bendalir nano kurang diberi perhatian berbanding perolakan dipaksa dan pemanasan kolam. Meskipun begitu, ia mula menarik perhatian berikutan dengan aplikasi berpotensi bendalir nano dalam pendingin MEMS dan pendingin elektronik. Berikutan peningkatan kepekatan, perolakan semulajadi dalam bendalir nano selalunya menunjukkan penurunan koefisien pemindahan haba (Putra et al, 2003). Meskipun begitu, Khanafer et al. (Khanafer et al, 2003) menunjukkan peningkatan koefisien pemindahan haba bagi perolakan semulajadi dalam bendalir nano yang mengandungi zarah-zarah nano Cu. Alasannya ialah berdasarkan peningkatan kesan penyebaran haba oleh pergerakan rawak zarah-zarah nano, dan seperti Xuan dan Roetzel (Xuan dan Roetzel, 2000) laporkan, penyebaran haba merupakan mekanisma utama bagi pemindahan haba dalam aliran bendalir nano, serupa dengan peningkatan konduktiviti haba bagi bendalir nano ‘statik’.

## 2.5 Aplikasi Bendalir Nano

Bendalir nano telah ditunjukkan secara teori dan experimennya untuk mempengaruhi pemberian ciri-ciri pengangkutan haba dan kecekapan tenaga yang tinggi dalam sistem pertukaran haba yang pelbagai untuk aplikasi-aplikasi industri yang berbeza, seperti pengangkutan, pendingin elektronik, tentera, tenaga nuclear dan angkasa dan lain-lain.

Untuk pengangkutan, campuran glikol etilena dan air menggunakan cecair penyejuk kenderaan secara umumnya berdasarkan kepada nilai pembekuan yang rendah untuk anti-beku dan begitu juga dengan nilai pemanasan yang ditingkatkan. Meskipun begitu, konduktiviti haba adalah agak rendah berbanding dengan air. Pada masa yang sama, minyak enjin mempunyai pemindahan haba bendalir yang rendah berbanding glikol etilena dalam perlaksanaan pengangkutan haba. Penambahan zarah-zarah nano dan tiub nano ke dalam cecair penyejuk untuk menghasilkan bendalir nano boleh meningkatkan konduktiviti haba, dan mempunyai potensi untuk memperbaiki kadar perubahan haba dan kecekapan bahan api. Pembaikan ini boleh digunakan untuk mengurangkan saiz sistem cecair penyejuk atau menyingkirkan lebihan haba daripada gas ekzos enjin kenderaan dengan menyimpan sistem pendingin yang sama. Tzeng (Tzeng et al, 2005) telah menjalankan penyelidikan untuk mengkaji kesan-kesan bendalir nano dalam sistem pendingin transmisi automatik.

Dalam penyelidikan beliau, zarah-zarah nano CuO (4.4 wt %) dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4.4 wt %) dan agen anti-buih telah disebarluaskan ke dalam bendalir transmisi dan seterusnya bendalir transmisi telah digunakan dalam keadaan sebenar empat roda transmisi automatic. Keputusan menunjukkan bahawa dengan menggunakan bendalir nano, lebihan haba telah dibuang daripada sistem transmisi dan transmisi automatic boleh disimpan pada taburan suhu yang lebih rendah pada kelajuan putaran yang tinggi dan rendah kedua-duanya. Gosselin dan Da Silva (Gosselin dan Silva, 2004) melaksanakan satu penyiasatan pada muatan zarah yang optima dalam usaha untuk memaksimakan perlaksanaan pengangkutan haba bendalir nano dengan syarat-syarat desakan yang sesuai. Mereka menjumpai bahawa apabila muatan zarah adalah rendah, pembaikan kadar pemindahan haba adalah kecil, sementara lebih zarah-zarah nano ditambah, peningkatan dalam kepekatan membawa kepada tekanan keregangan yang besar dan seterusnya kuasa pengepaman yang lebih besar adalah perlu. Meskipun begitu, kita masih boleh memaksimakan kadar pemindahan haba dengan kuasa pengepaman yang malar dengan menyediakan muatan zarah yang sesuai.

Baru-baru ini, penghapusan kuasa komponen-komponen elektronik dan mikroelektronik telah meningkat secara mendadak. Pengurusan haba dan bendalir pendingin adalah lebih baik dengan ciri-ciri pengangkutan haba yang telah diperbaiki adalah diperlukan. Bendalir nano telah dipertimbangkan sebagai bendalir yang bekerja dalam paip-paip haba untuk aplikasi-aplikasi pendingin elektronik (Tsai et al, 2004). Dalam sebilangan kajian baru-baru ini, Ma et al. menyiasat kesan bendalir nano pada kebolehan pengangkutan haba bagi paip haba yang berayun. Bendalir nano pada muatan zarah-zarah nano berisipadu 1 % telah menunjukkan kebolehan untuk mengurangkan perbezaan suhu antara penyejat dan pemeluwap daripada  $40.9^{\circ}\text{C}$  hingga  $24.3^{\circ}\text{C}$ . Chien dan Huang (Chein dan Huang, 2005) menguji perlaksanaan bendalir nano sebagai cecair pendingin dalam saluran mikro silicon. Bendalir nano yang mereka guna adalah air yang mengandungi zarah-zarah nano Cu pada pelbagai muatan zarah. Mereka menjumpai prestasi sink haba saluran mikro yang diperbaiki dengan baik berdasarkan kepada peningkatan kesan-kesan konduktiviti haba dan penyebaran haba, begitu juga kehadiran zarah-zarah nano dalam air tidak akan menyebabkan penurunan tekanan yang ketara berdasarkan kepada pecahan isipadu yang kecil bagi zarah-zarah pepejal.

Peralatan-peralatan tentera menyisihkan kuantiti haba yang besar dan memerlukan kesannya diperlukan dan larutan pendingin fluks-haba-tinggi mempunyai kapasiti pendingin yang tinggi sehingga puluhan  $\text{MW}/\text{m}^2$ . Bendalir nano mempunyai kebolehan untuk menyediakan kapasiti pendingin yang diperlukan seperti dalam aplikasi-aplikasi begitu juga dalam sistem tentera yang lain, termasuk kenderaan tentera yang tiada pembatasan, kapal selam, dan laser yang berkuasa tinggi. Bendalir nano untuk aplikasi-aplikasi tentera kadang-kadang melibatkan bendalir nano yang multi-fungsi dengan menambah material penstoran haba atau material penuaian tenaga melalui tindakbalas kimia.

Dua dekad yang lalu telah menyaksikan perlaksanaan cip IC meningkat secara mendadak dan berjuta-juta atau lebih transistor ditukar kepada cip yang nipis. Lebih haba perlu disisihkan per unit luas disisih oleh komponen-komponen elektronik. Koo dan Kleinstreuer (Koo dan Kleinstreuer, 2005) telah menyiasat pemindahan haba pada sink haba mikro menggunakan dua jenis bendalir nano; zarah-zarah nano CuO dalam air dan glikol etilena. You et al. (You et al, 2003) dan Vassalo et al. (Vassalo et al, 2004) melaporkan peningkatan drastic dalam fluks haba kritikal (CHF) dalam pemanasan kolam yang mengandungi bendalir nano berbanding dengan bendalir asas. Sifat bendalir nano mungkin digunakan dalam pendingin elektronik untuk aplikasi di angkasa.

Selain aplikasi dalam pengurusan pendingin dan haba, teknologi bendalir nano boleh digunakan untuk pelincir dan minyak yang lebih baik. Penyelidikan bendalir nano baru-baru ini membuktikan keupayaan penambahan zarah-zarah nano ke dalam minyak pelincir untuk membaiki ciri-ciri tribologikal, seperti kapasiti pembawaan-muatan, rintangan ketahanan dan pecahan geseran antara komponen-komponen mekanikal dalam pergerakan. Ini telah disahkan oleh keputusan eksperimen dimana penambahan permukaan yang diubahsuai zarah-zarah nano boleh disebarluaskan dengan mudah didalam minyak pelincir untuk menghasilkan bendalir nano yang stabil dan berkesan dalam mengurangkan pecahan dan membaiki kapasiti pembawaan-muatan.

Masih banyak kerja penyelidikan diperlukan untuk proses penghasilan, pengukuran eksperimen dan mekanisma dalam memahami bendalir nano. Cabaran dalam penghasilan bendalir nano ialah untuk mencipta kaedah-kaedah baru untuk menghasilkan banyak bendalir nano pada kos yang efektif pada skala industry untuk aplikasi-aplikasi komersial. Dalam kes yang unggul ini, satu kaedah yang tidak memerlukan sistem vakum dan menunjukkan kebolehan untuk menghasilkan bekalan bendalir nano yang berterusan adalah kaedah yang berpotensi.

## **BAB 3**

### **KAEDAH KAJIAN**

#### **3.1 Pendahuluan**

Konsep kaedah kajian ataupun metodologi merupakan penerangan yang berkaitan dengan komponen dan alat, kaedah kerja, peraturan dan teknik-teknik dalam melaksanakan atau menyiapkan sesuatu kerja. Tujuan utama kaedah kajian ini dijalankan adalah supaya objektif dan matlamat yang dikehendaki tercapai. Dalam projek sarjana muda ini, kaedah kajian telah dibahagikan kepada beberapa peringkat. Bahagian pertama akan membincangkan fabrikasi alat ujikaji miniatur pemindahan dan bahagian kedua membincangkan berkaitan penyediaan bendalir nano.

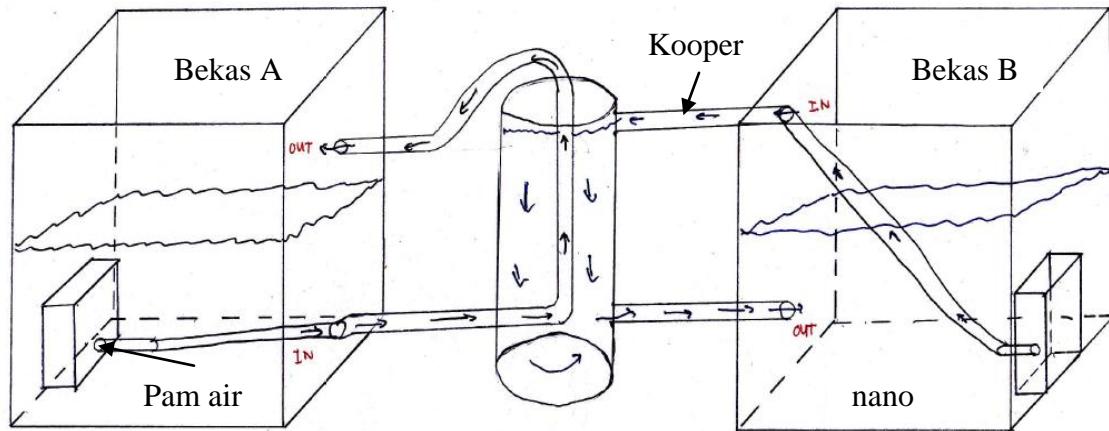
### 3.2 Pemilihan Bahar

#### 3.2.1 Rekabentuk awal

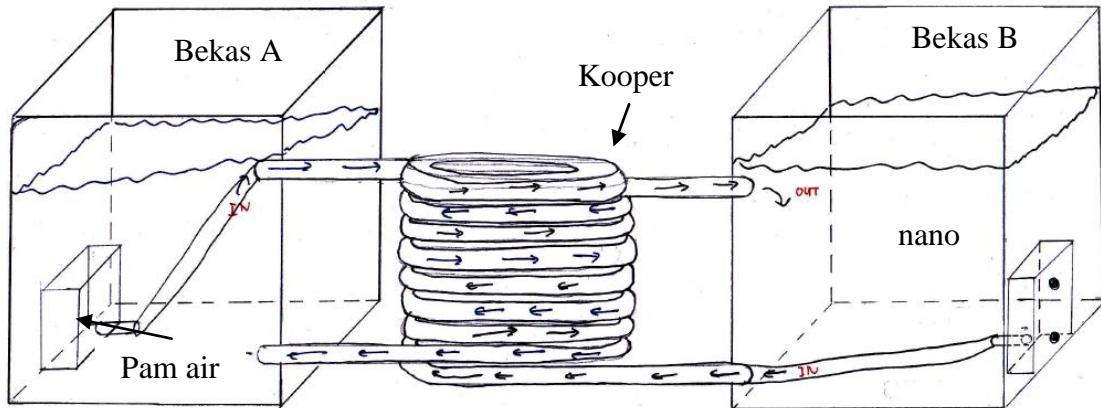
Rekabentuk awal terbahagi kepada tiga iaitu:

a) Konsep rekabentuk awal

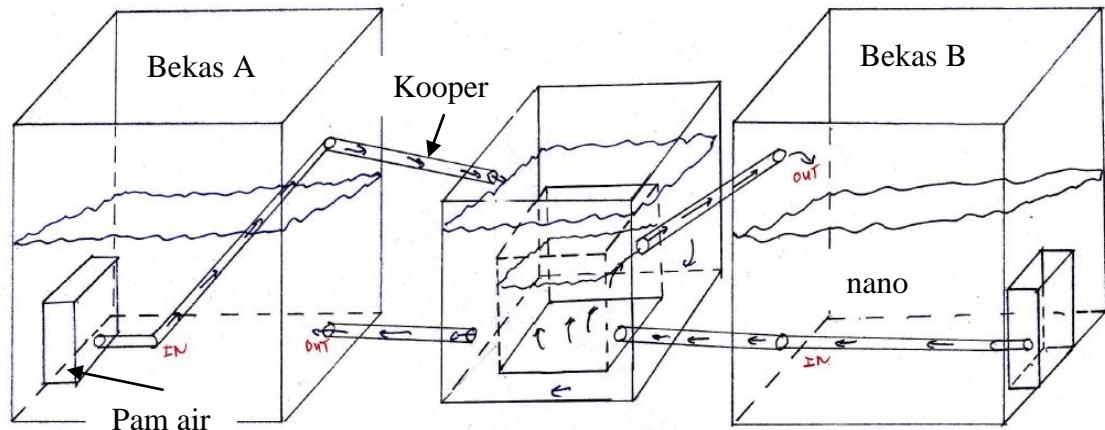
Konsep rekabentuk awal lakaran awal dimana sistem pemindahan haba yang sedia ada digunakan sebagai rujukan untuk membina alat ujikaji miniatur pemindahan haba. Rajah dibawah menunjukkan beberapa konsep awal yang akan digunakan untuk membina alat ujikaji miniatur pemindahan haba. Rajah dibawah menunjukkan rekabentuk awal.



Rajah 3.1 : Silinder



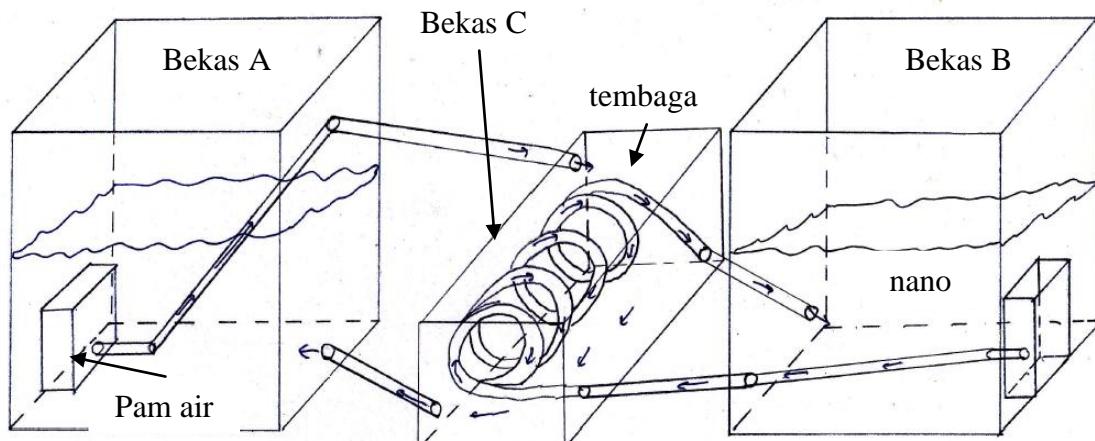
Rajah 3.2 : Gegelung tegak



Rajah 3.3 : Kekotak

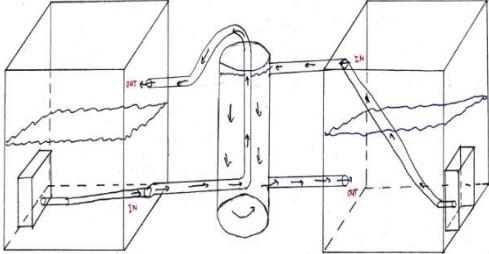
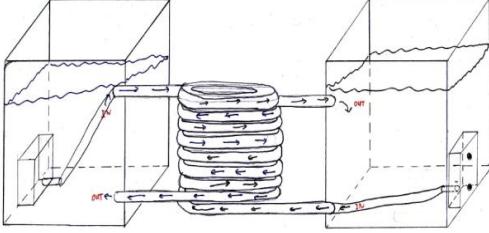
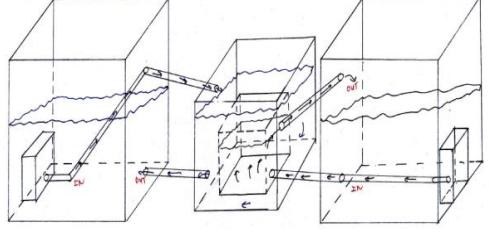
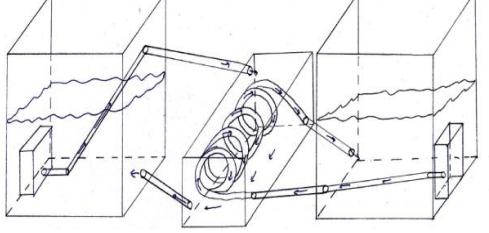
### b) Pemilihan rekabentuk

Hasil daripada tiga konsep lakaran awal, pemilihan dibuat hasil daripada perbincangan kumpulan projek, pemilihan konsep dibawah hasil daripada pemerhatian daripada pelbagai faktor yang memenuhi kriteria alat ujikaji maniatur pemindahan haba. Pemilihan juga dibuat berdasarkan beberapa faktor yang perlu diambil kira seperti yang ditunjukkan pada rajah dibawah. Untuk ketiga-tiga rekabentuk awal, konsep gezelung tegak dipilih kerana rekabentuk tersebut memenuhi kriteria sebagai tempat pemindahan haba. Tetapi bagi ketiga-tiga konsep rekabentuk awal ini tetap mempunyai masalah dari segi pemindahan haba. Rajah 3.4 menunjukkan lakaran bagi rekabentuk yang kedua perlu dibuat untuk projek alat miniatur pemindahan haba.



Rajah 3.4 : Gegelung melintang

Jadual 3.1 : Pemilihan rekabentuk

Rekabentuk	Gambarajah	Memenuhi ciri-ciri asal aplikasi	Jumlah isipadu bendalir nano, (300 ml)	Luas permukaan sentuhan tembaga dan air sejuk
Silinder			x	
Gegelung tegak		x	x	x
Kekotak		x		x
Gegelung melintang		x	x	x

c) Pemilihan bahan ujikaji

Pemilihan bahan ujikaji amat penting untuk membina dan menjalankan ujian terhadap sesuatu produk. Pemilihan bahan perlu dibuat berdasarkan ciri-ciri rekabentuk yang sudah dibuat. Pemilihan ini penting bagi mengelakkan bahan yang digunakan tidak sesuai. Pada bahagian ini, bahan yang dicadangkan adalah hasil daripada pembincangan pelajar, pensyarah, dan juga juruteknik. Jadual 3.2 dibawah menunjukkan bahan-bahan yang telah dipilih untuk membina alat uji kaji miniatur pemindahan haba :

Jadual 3.2 : Bahan-bahan diguna membina alat ujikaji miniatur pemindahan haba

Komponen	Bahan	Penerangan
Bekas	Akrilik	Bahan ini dipilih kerana mudah didapati dan mempunyai pemukaan yang jernih dimana ketika bendalir nano dimasukan kedalam bekas, mendakan boleh dilihat. Bagi kestabilan suhu pula ia tidak sesuai kerana haba terbebas ke udara amat tinggi.
Gegelung	Tembaga	Bahan dipilih kerana cooper merupakan penebat haba yang baik selain aluminium. Kelebihan cooper ialah senang diselenggara berbanding aluminium dan juga senang didapati
Pam air	Pam air	Pam air yang kecil diperlukan supaya luas didalam bekas tidak dibina dengan besar untuk menempatkan pam air berkenaan.
Hos	Getah taflon	Pemilihan hos taflon sebagai penyambung diantara pam air ke cooper kerana larutan bendalir nano yang mengalir dapat dilihat dengan mudah kerana sifat bendalir nano yang berwarna gelap. Tiub ini mempunyai kekurangan dimana bukan penebat haba yang baik.

### **3.2.2 Kerja-kerja pemasangan**

Penyediaan bahan seperti akrilik, tembaga, hos, gam silikon, pam air, dan pemotong tembaga telah disediakan, kerja-kerja pemasangan akan dilakukan berdasarkan konsep pemilihan rekabentuk. Kerja-kerja pemasangan dilakukan di bengkel dan makmal. Alatan seperti gergaji, kikir dipinjam daripada bengkel mekanikal.

### **3.2.3 Ujian pemindahan haba**

Apabila kerja-kerja pemasangan siap dilakukan, ujian terhadap alat ujikaji miniatur pemindahan haba dilakukan bagi memastikan ia berfungsi dengan baik dan eksperimen boleh dilakukan dengan jayanya. Untuk menguji samada alat ujikaji miniatur pemindahan haba berfungsi atau tidak, air akan dipenuhi didalam bekas dah pam air akan dihidupkan. Jika tiada kebocoran berlaku pada alat ujikaji miniatur pemindah haba, bermakna ia berfungsi dengan baik. Bahagian yang paling penting pada alat ini ialah, lilitan cooper perlu betul dimana air yang dihantar dari pam air ke lilitan cooper harus kembali semula pada bekas yang sama dimana air dihantar tadi. Jika lilitan cooper salah, ujian pemindahan haba tidak dapat dilakukan. Alat termoganding digunakan untuk merekodkan segala data ketika eksperimen dijalankan.

### 3.3 Penyediaan Bendalir Nano

Penyediaan bendalir nano memerlukan beberapa penelitian terperinci kerana ketika bendalir nano dihasilkan, terdapat beberapa faktor yang akan menyebabkan bendalir nano tidak berada pada keadaan stabil. Antara faktor-faktor penting yang perlu diambil kira ketika penyediaan bendalir nano ialah nilai pH bendalir nano, timbang berat kandungan bahan, dan bendasing didalam larutan. Faktor keselamatan amat penting kerana ketika penyediaan bendalir nano, terdapat beberapa bahan yang membahayakan kesihatan antaranya natrium dodesil sulfat, natrium hidroksida dan asid nitrik, dan juga karbon nano tiub.

Untuk mencegah kejadian yang tidak di ingini, baju pelindungan keselamatan, topeng muka, dan sarung tangan harus sentiasa dipakai ketika kerja penyedian bendalir nano dilakukan. Setiap bekas penyimpanan bendalir nano perlu bersih daripada sebarang bendasing contoh air paip atau serbuk besi yang akan menyebabkan larutan bandalir nano tidak stabil. Berat kandungan amat penting kerana setiap bantuan bendalir nano memerlukan larutan yang tepat untuk memastikan nilai pH stabil iaitu pada bacaan pH 9 dan untuk memastikan ujian yang akan dijalankan menepati objektif kajian.

### 3.3.1 Kaedah penyediaan bendalir nano

Jadual 3.3 : Timbang berat untuk natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub. Terdapat lima bacaan berbeza untuk satu bantuan iaitu:

Karbon nano tiub (g)	Natrium dodesil sulfat(g)
0.4	0.16
0.5	0.20
0.6	0.24
0.8	0.32
1.0	0.4

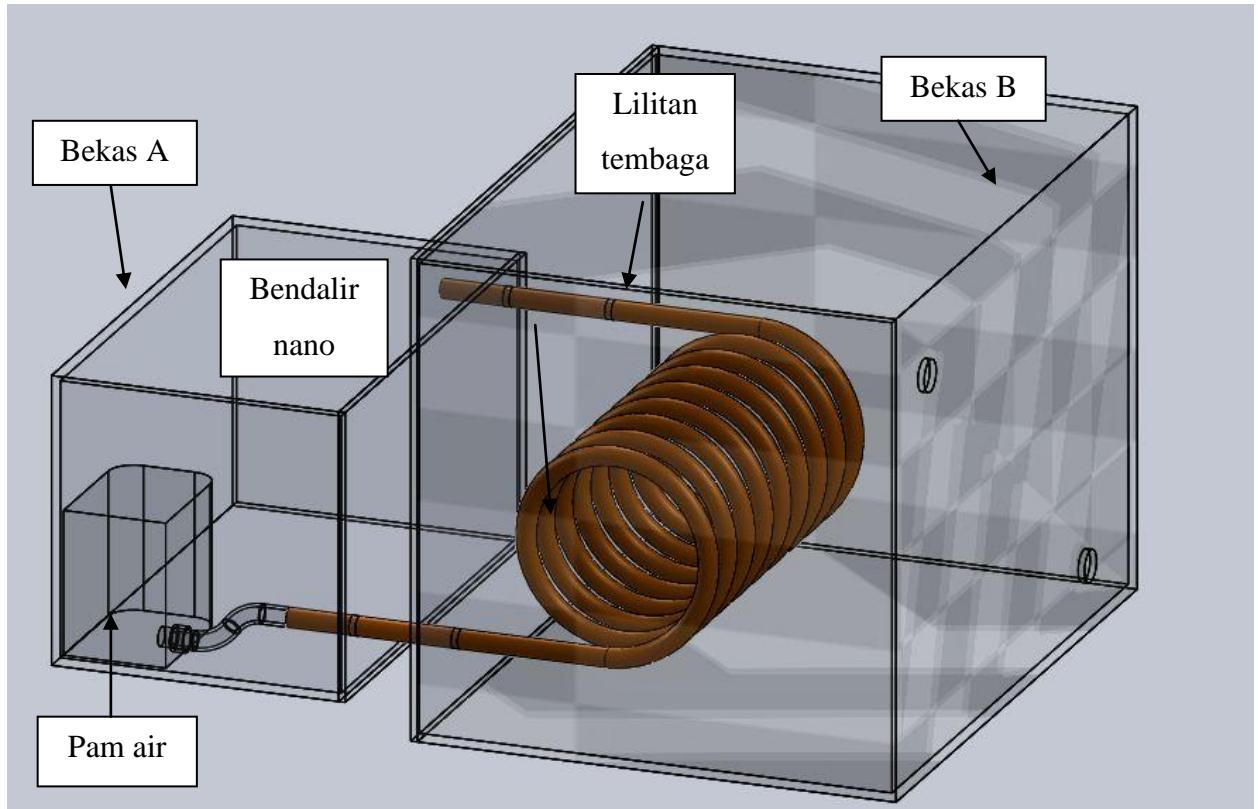
- a. Masukkan natrium dodesil sulfat dahulu didalam bekas dengan melarutkan menggunakan air ternyahion kemudian masukkan pula karbon nano tiub.
- b. Kemudian untuk memastikan larutan natrium dedosil sulfat dan karbon nano tiub terlarut, alat digital homogenizer diperlukan. Tetapkan kelajuan alat digital homogenizer pada 10 000 rpm selama satu minit.
- c. Masukkan pula larutan tersebut didalam alat bersih ultrasonik selama 60 minit pada suhu 25 °C.
- d. Selepas 60 minit, periksa samaada bendalir nano berada pada pH 9 menggunakan pH meter.
- e. Jika bacaan kurang daripada pH 9, asid nitrik diperlukan dan jika bacaan pH lebih, asid natrium hidroksida diperlukan.
- f. Masukkan semula larutan bendalir nano didalam digital homogenizer pada 10 000 rpm selama lima minit.
- g. Periksa semula bacaan pH kemudian larutan bendalir nano sedia digunakan untuk eksperiment.

## BAB 4

### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

#### 4.1 Pendahuluan

Hasil daripada pemilihan reka bentuk yang dibincangkan didalam bab tiga, rekabentuk gezelung melintang digunakan sebagai alat pemindahan haba. Rekabentuk yang memenuhi krateria-krateria seperti alat pemindahan haba diuji terlebih dahulu dimana setiap komponen-komponen yang dipasang harus berfungsi dengan baik. Ujian awal seperti memastikan tiada kebocoran berlaku pada setiap bekas, memastikan pam air berfungsi, pastikan lilitan tembaga tidak retak atau bocor, dan pemasangan setiap komponen berada pada kedudukan yang telah ditetapkan. Dari pada segi ukuran dapat dilihat seperti dibawah:



Rajah 4.1 : Gegelung melintang

Jadual 4.1 : Ukuran bagi setiap komponen

Komponen	Saiz (cm)
Bekas A	15 x 9 x 9
Bekas B	20 x 15 x 15
Panjang tembaga	76.5
Diameter tembaga	0.6
Ketebalan tembaga	0.1

Fungsi alat ujikaji miniatur pemindahan haba gegelung melintang seperti berikut:

- Pam air pada bekas A akan dihidupkan seterusnya air yang sejuk akan dihantar kedalam bekas B. Air sejuk didalam bekas A diperolehi daripada alat “water bath” dimana suhu pada alat ini boleh dilaraskan. Untuk ujian ini, suhu telah ditetapkan iaitu pada  $6^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ , dan  $45^{\circ}\text{C}$ .
- Kemudian suhu yang sejuk akan dipindahkan ke gegelung tembaga dimana bekas B akan pam bendalir nano kedalam gegelung tembaga sehingga bendalir nano kembali semula ke dalam bekas B.
- Bekas A dan bekas B akan mengekalkan kuantiti bendalir dimana ketika bendalir dihantar ke gegelung tembaga, bendalir tersebut akan kembali semula didalam bekas masing-masing pada kuantiti yang sama.
- Termogading akan diletakkan didalam lilitan tembaga dan juga didalam bekas A, dan B dimana fungsi termogading digunakan untuk mengambil bacaan perubahan suhu.

## 4.2 Jenis Ujikaji

Di dalam menguji keberkesanan dan prestasi pemindahan haba, air ternyahion akan digunakan sebagai bendalir piawai “based water” dan bendalir nano digunakan sebagai bahan ujian. Sebelum ujian terhadap bendalir nano dijalankan, bendalir piawai akan diuji terlebih dahulu dimana ujian akan dijalankan diantara air ternyahion bersuhu bilik dan bendalir piawai pada suhu yang ditetapkan iaitu pada suhu  $6^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ , dan  $45^{\circ}\text{C}$ . Kemudian ujian terhadap bendalir nano dijalankan dimana langkah kerja yang sama seperti bendalir piawai. Ujian bendalir piawai amat penting bagi memastikan data yang diperolehi dapat dibandingkan dengan bendalir nano.

Data terkumpul akan direkodkan diantara 10 minit hingga 15 minit bergantung kepada tiga perubahan malar dimana jika tiga nilai malar direkodkan pada masa yang telah ditetapkan iaitu 10 minit hingga 15 minit, bacaan pemindahan haba akan diberhentikan bagi mengelakkan suhu yang tidak stabil disebabkan oleh pam air yang menjadi panas yang akan menyebabkan bacaan suhu tidak stabil.

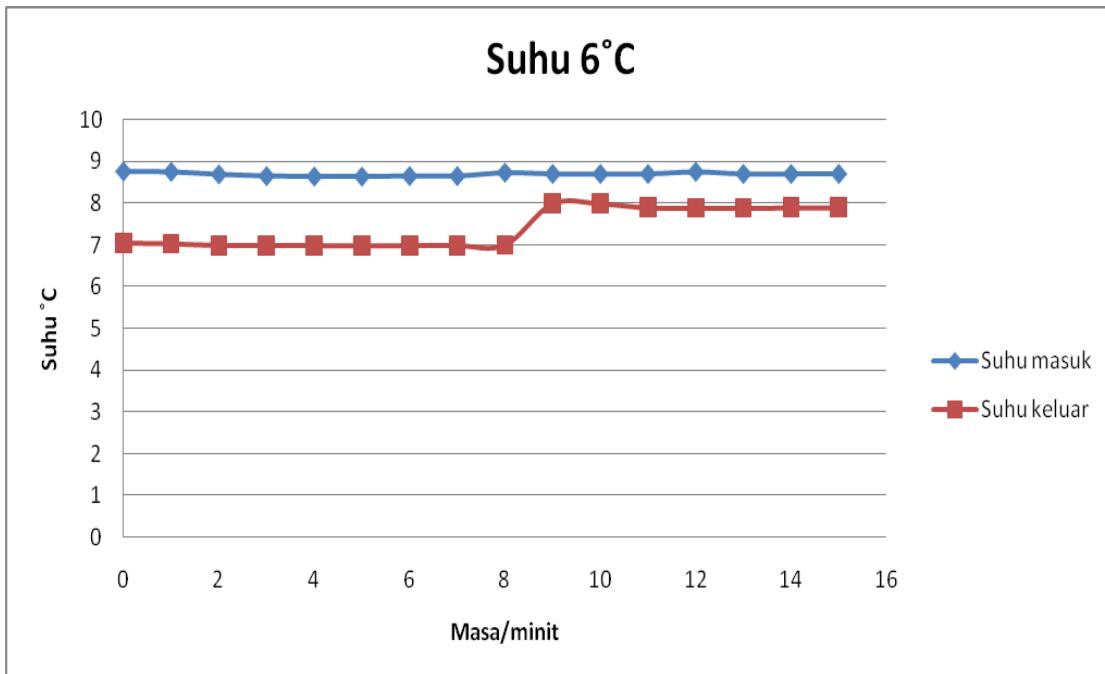
#### **4.2.1 Ujian diantara bendalir piawai dan air ternyahion**

Air ternyahion merupakan air tulen dimana ion mineral ataupun garam dikeluarkan. Ion-ion mineral termasuk natrium, kalsium, besi, tembaga, klorida, dan bromida. Air ternyahion ini diperolehi daripada air konvensional ataupun air paip dimana akan diletakkan didalam alat resin beras elektrik dengan menyingkirkan garam yang terdapat didalam air konvensional. Keputusan ujian dijalankan bagi suhu 6 °C, 25 °C, dan 45 °C seperti berikut :

a) Suhu 6 °C

Jadual 4.2 : Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 6 °C

Masa / (minit)	Suhu masuk (°C)	Suhu keluar (°C)	Suhu bekas (°C)	Suhu bilik (°C)
0	8.76	7.05	7.61	29.12
1	8.75	7.03	7.55	28.98
2	8.69	6.99	7.48	28.92
3	8.65	6.99	7.46	28.91
4	8.64	6.99	7.42	28.91
5	8.64	6.98	7.41	28.89
6	8.65	6.99	7.41	28.70
7	8.65	6.99	7.41	28.88
8	8.73	7.00	7.42	28.91
9	8.70	7.99	7.42	28.85
10	8.70	7.99	7.41	28.89
11	8.70	7.89	7.42	28.84
12	8.75	7.88	7.41	28.85
13	8.70	7.88	7.42	28.89
14	8.70	7.89	7.43	28.98
15	8.70	7.89	7.44	28.98



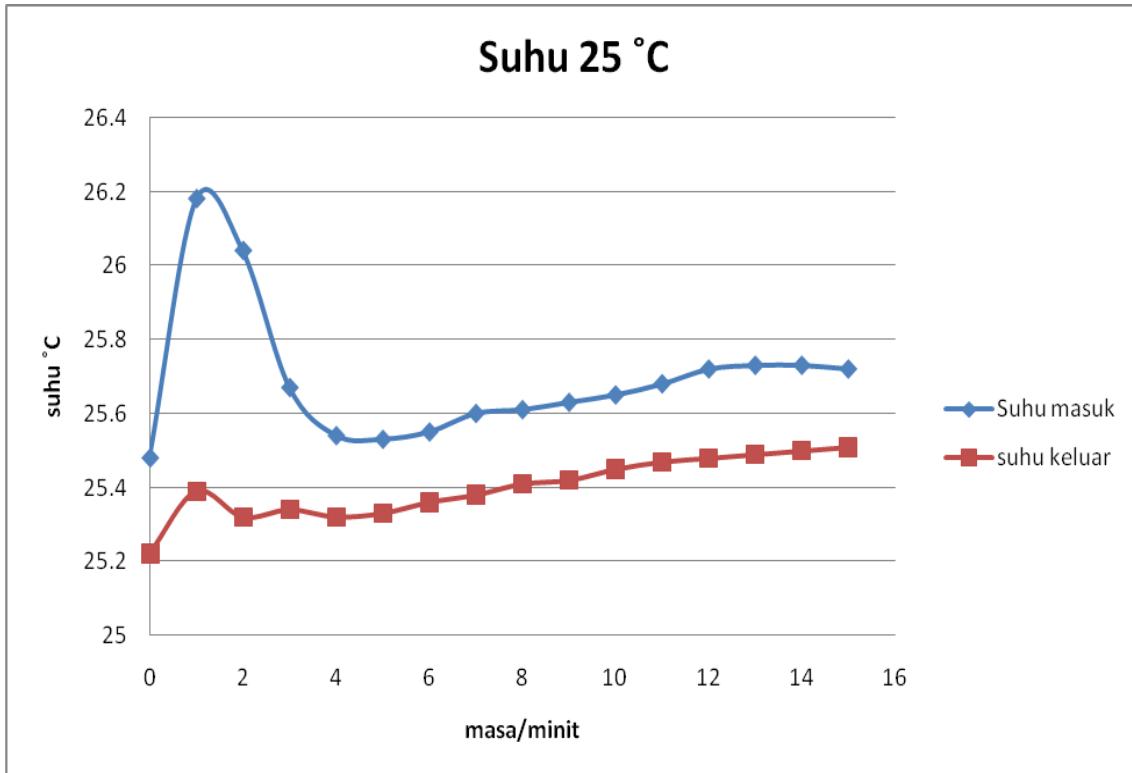
Rajah 4.2 : Graf pemindahan haba diantara bendalir piaawai dan air ternyahion pada suhu  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$

Rajah 4.2 menunjukkan perubahan suhu diantara bendalir piaawai dan air ternyahion pada suhu  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dimana bacaan suhu masuk menunjukkan perubahan yang tidak ketara iaitu  $8.76\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $8.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  manakala suhu keluar pula menunjukkan peningkatan dari segi pemindahan haba dimana pada minit 0 hingga 12, perubahan suhu dari  $7.05\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan pada minit ke 8 hingga 15, perubahan suhu menunjukkan  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $7.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Perbezaan pemindahan haba diantara suhu masuk dan suhu keluar sebanyak pada minit ke 15 iaitu sebanyak  $0.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Perbezaan diantara suhu masuk dan suhu keluar akan dijadikan sebagai rujukan kepada bendalir nano.

b) Suhu 25 °C

Jadual 4.3 : Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 25 °C

Masa / (minit)	Suhu masuk (°C)	Suhu keluar (°C)	Suhu bekas (°C)	Suhu bilik (°C)
0	25.48	25.22	26.84	28.11
1	26.18	25.39	26.06	28.09
2	26.04	25.32	26.06	27.9
3	25.67	25.34	25.58	27.86
4	25.54	25.32	25.45	27.79
5	25.53	25.33	25.42	27.84
6	25.55	25.36	25.43	27.81
7	25.60	25.38	25.45	27.82
8	25.61	25.41	25.46	27.83
9	25.63	25.42	25.46	27.8
10	25.65	25.45	25.46	27.85
11	25.68	25.47	25.47	27.83
12	25.72	25.48	25.48	27.85
13	25.73	25.49	25.49	27.9
14	25.73	25.50	25.50	27.87
15	25.72	25.51	25.51	27.95



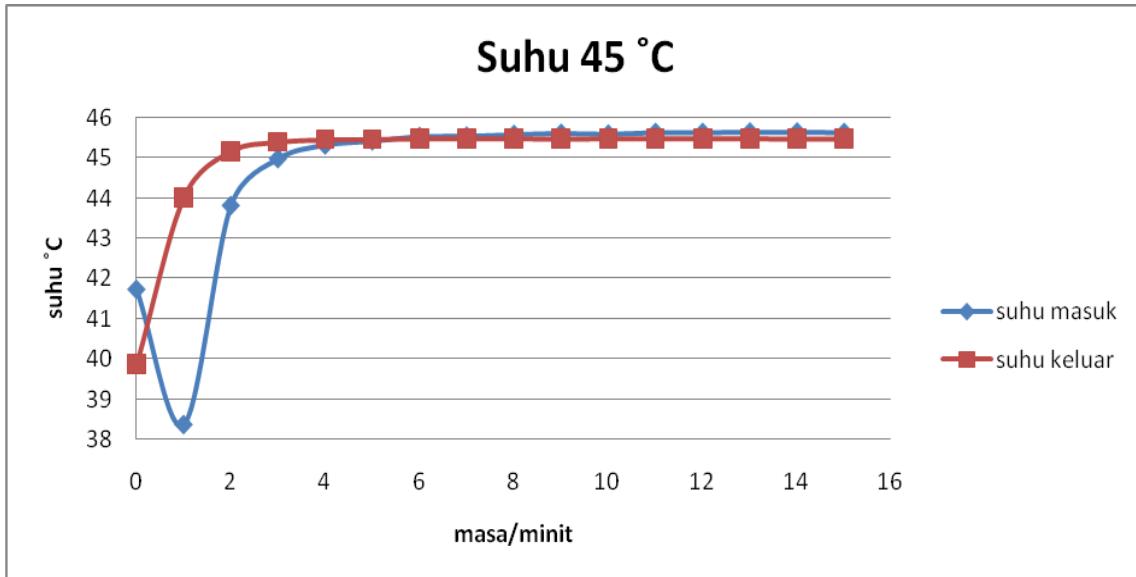
Rajah 4.3 : Graf pemindahan haba diantara bendalir piaawai dan air ternyahion pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$

Rajah 4.3 menunjukkan perubahan suhu diantara bendalir piaawai dan air ternyahion pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Pada minit 0 hingga 4, perubahan suhu masuk yang tidak stabil iaitu  $25.48^{\circ}\text{C}$  hingga  $25.54^{\circ}\text{C}$  disebabkan oleh ralat yang terdapat pada alat ujikaji miniatur pemindahan haba. Tetapi perubahan pemindahan haba menunjukkan peningkatan pada suhu masuk pada minit ke 5 hingga 15 dimana perubahan suhu diantara  $25.53^{\circ}\text{C}$  hingga  $25.72^{\circ}\text{C}$  dimana perbezaanya ialah  $0.19^{\circ}\text{C}$  manakala pada suhu keluar, peningkatan pada minit ke 0 hingga 15 dimana perubahan suhu diantara  $25.22^{\circ}\text{C}$  hingga  $25.51^{\circ}\text{C}$ . Perbezaan suhu masuk dan suhu keluar pada minit ke 15 menunjukkan perubahan sebanyak  $0.21^{\circ}\text{C}$ .

c) Suhu 45 °C

Jadual 4.4 : Keputusan perbezaan pemindaha haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu 45 °C

Masa / (minit)	Suhu masuk (°C)	Suhu keluar (°C)	Suhu bekas (°C)	Suhu bilik (°C)
0	41.73	39.86	31.8	29.92
1	38.38	44.02	38.45	29.93
2	43.81	45.17	43.54	30.00
3	44.97	45.40	44.60	29.97
4	45.31	45.46	44.90	30.13
5	45.41	45.47	45.00	30.27
6	45.52	45.49	45.07	30.33
7	45.53	45.49	45.12	30.42
8	45.57	45.49	45.15	30.51
9	45.60	45.48	45.17	30.49
10	45.58	45.49	45.18	30.56
11	45.62	45.49	45.19	30.60
12	45.62	45.49	45.19	30.60
13	45.63	45.49	45.20	30.67
14	45.63	45.48	45.20	30.71
15	45.62	45.48	45.21	30.70



Rajah 4.4 : Graf pemindahan haba diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu  $45^{\circ}\text{C}$

Rajah 4.4 menunjukkan perubahan suhu diantara bendalir piawai dan air ternyahion pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Pada minit 0 hingga 3, perubahan suhu masuk dan suhu keluar menunjukkan perubahan pemindahan yang tidak stabil disebabkan oleh ralat pada alat ujikaji miniatur pemindahan haba. Pemindahan haba kembali stabil pada minit 4. Suhu masuk dan suhu keluar tidak menunjukkan perubahan yang ketara seperti yang ditunjukkan didalam graf. Perubahan suhu masuk dan suhu keluar pada minit ke 15 menunjukkan perubahan pemindahan haba sebanyak  $0.14^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.2.2 Ujian diantara bendalir piawai dan bendalir nano (CNT komersil)**

Asas cecair termasuklah air, glikoletilena, dan minyak. Didalam ujian yang akan dijalankan, CNT komersil merupakan karbon nano tiub dimana ia dihasilkan tanpa rawatan haba tetapi dari segi prestasi pemindahan haba lebih baik jika dibandingkan prestasi pemindahan haba bendalir piawai.

Pada ujikaji yang dijalankan, campuran diantara natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub telah ditetapkan seperti didalam jadual 4.5 campuran diantara natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub. Campuran ini penting bagi mengetahui prestasi pemindahan haba bendalir nano pada campuran mana lebih baik dan berkesan pada sukatan air ternyahion seberat 100 g.

Jadual 4.5 : Campuran diantara natrium dodesil sulfat dan karbon nano tiub

Karbon nano tiub (g)	Natrium dodesil sulfat (g)
0.4	0.16
0.5	0.20
0.6	0.24
0.8	0.32
1.0	0.4

Keputusan ujian dijalankan pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45 °C seperti berikut :

Jadual 4.6 : Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 6 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	7.99	6.9	8.3	6.79	7.82	6.85	8.43	10.49	24.67	7.89
1	7.97	6.89	8.27	6.81	7.97	6.82	18.86	8.54	16.44	6.92
2	8.05	6.9	8.21	6.82	8.41	6.81	8.96	7.01	9.41	6.87
3	8.1	6.91	8.19	6.8	8.15	6.8	8.15	6.88	8.46	6.81
4	8.08	6.92	8.15	6.82	8.17	6.79	8.03	6.86	8.32	6.82
5	8.09	6.92	8.11	6.83	8.25	6.82	8.07	6.85	8.35	6.82
6	8.07	6.9	8.08	6.82	8.25	6.82	8.07	6.84	8.46	6.82
7	8.08	6.92	8.06	6.84	8.22	6.81	8.2	6.85	8.4	6.83
8	8.06	6.91	8.06	6.83	8.25	6.82	8.35	6.87	8.4	6.82
9	8.06	6.92	8.06	6.86	8.25	6.84	8.35	6.89	8.4	6.82
10	8.06	6.91	8.06	6.87	8.25	6.86	8.35	6.89	8.4	6.82

Jadual 4.7 : Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 25 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C ) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	26.67	26.19	26.71	26.15	26.56	26.12	26.52	26.14	23.52	25.05
1	25.96	25.7	25.79	25.7	25.36	25.59	26.21	25.71	25.76	25.62
2	25.98	25.66	25.98	25.64	25.92	25.64	26.06	25.63	25.88	25.64
3	25.99	25.66	26.01	25.64	25.97	25.62	26.04	25.64	25.91	25.65
4	26.01	25.66	26.03	25.65	26.01	25.64	26.06	25.64	25.96	25.67
5	26.01	25.65	26.04	25.64	26.04	25.64	26.22	25.64	26	25.68
6	26.04	25.67	26.06	25.65	26.04	25.63	26.13	25.65	26.02	25.7
7	26.04	25.66	26.08	25.65	26.05	25.64	26.1	25.65	26.05	25.72
8	26.06	25.68	26.08	25.64	26.05	25.64	26.09	25.63	26.06	25.71
9	26.07	25.67	26.07	25.63	26.07	25.64	26.09	25.63	26.07	25.69
10	26.07	25.66	26.08	25.64	26.05	25.60	26.09	25.63	26.06	25.53

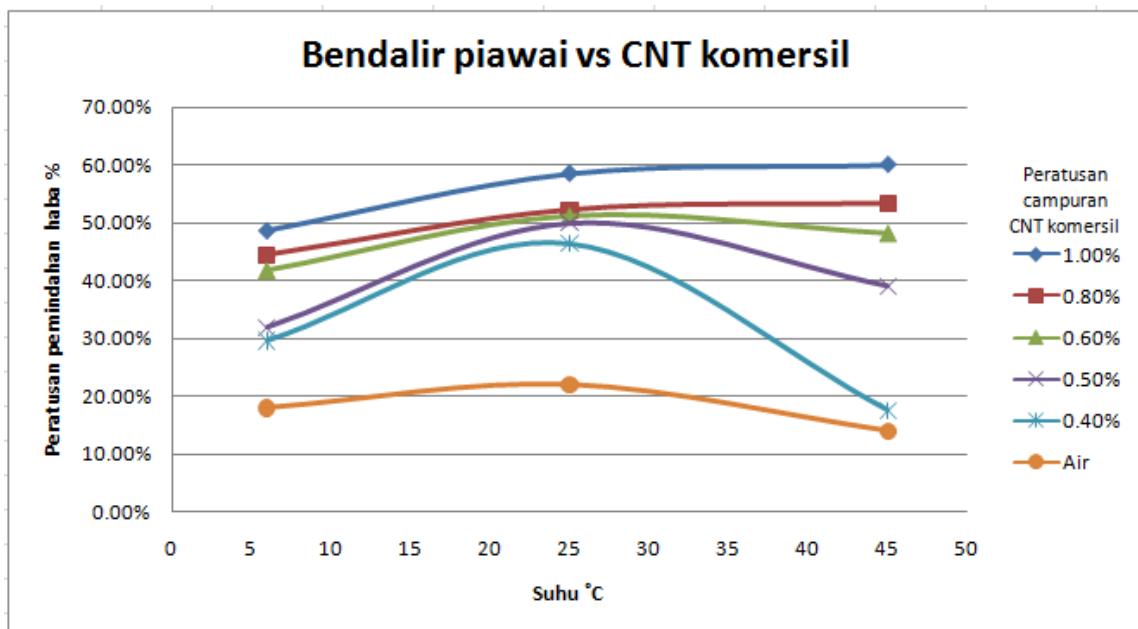
Jadual 4.8 : Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan CNT komersil pada suhu 45 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C ) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	44.29	44.41	43.8	44.27	42.71	43.3	44.17	44.43	44.13	44.51
1	38.34	44.65	40.21	44.69	39.66	45.16	35.44	45.03	38.02	44.71
2	45.18	45.52	45.22	45.53	45.05	45.58	44.84	45.52	44.87	45.55
3	45.37	45.56	45.34	45.54	45.22	45.57	45.21	45.58	45.19	45.61
4	45.37	45.54	45.35	45.54	45.28	45.56	45.23	45.57	45.25	45.61
5	45.38	45.55	45.31	45.52	44.97	45.56	45.23	45.57	45.28	45.62
6	45.41	45.57	45.33	45.53	45.02	45.55	45.25	45.58	45.3	45.63
7	45.39	45.56	45.32	45.54	45.18	45.56	45.28	45.58	45.28	45.62
8	45.41	45.57	45.33	45.55	45.23	45.54	45.28	45.58	45.29	45.65
9	45.42	45.59	45.33	45.56	45.28	45.55	45.29	45.55	45.3	45.67
10	45.42	45.59	45.33	45.56	45.27	45.54	45.29	45.59	45.3	45.65

Dari ketiga-tiga jadual yang diperolehi, hanya tiga bacaan malar paling bawah iaitu pada minit ke 8, 9, dan 10 sahaja akan digunakan sebagai rujukan bagi menentukan prestasi pemindahan haba yang akan dibandingkan dengan nilai bendalir piawai. Bagi ketiga-tiga nilai tersebut, nilai purata harus dikira terlebih dahulu bagi mendapatkan nilai tunggal bagi setiap suhu yang telah ditetapkan.

Jadual 4.9 : Peratusan purata bagi bendalir piawai dan campuran CNT komersil pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C

Sampel	Peratusan campuran CNT %	Suhu (°C)		
		6	25	45
Bendalir piawai	-	18.00	22.00	14.00
CNT komersil	0.4	29.6	46.3	17.6
	0.5	31.9	50.0	39.1
	0.6	41.7	51.1	48.1
	0.8	44.5	52.2	53.3
	1.0	48.7	58.5	60.0



Rajah 4.5 : Graf bendalir piawai vs CNT komersil pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C

Rajah 4.5 menunjukkan gabungan diantara bendalir piawai melawan CNT komersil dimana perbezaan suhu 6 °C, 25 °C, dan 45 °C melawan peratus pemindahan haba. Peratus pemindahan haba diperolehi daripada formula berikut :

$$\text{Perubahan pemindahan haba} = \frac{\text{Perubahan suhu bendalir nano} + \text{perubahan suhu bendalir piawai}}{\text{Perubahan suhu bendalir nano}}$$

Perubahan pemindahan haba meningkat bagi peratusan campuran CNT komersil 0.4 % , 0.5 %, 0.6 %, 0.8 %, 1.0 % jika dibandingkan dengan peratusan bendalir piawai. Pada peratusan campuran CNT 0.8 % dan 1.0 % menunjukkan peningkatan yang paling baik dari segi prestasi peningkatan haba iaitu 53.3 °C dan 60 °C. Tetapi pada campuran CNT komersil 0.4 %, 0.5 %, dan 0.6 %, penurunan dicatatkan pada suhu 45 °C dimana bacaan ialah 17.6 %, 39.1 % dan 48.1 % jika dibandingkan dengan bacaan pada suhu 25 °C iaitu peratusan campuran CNT ialah 46.3 %, 50 %, 51.1 %. Penurunan ini disebabkan oleh sifat CNT komersil yang dihasilkan tanpa rawatan haba yang menyebabkan prestasi pemindahan haba suhu tinggi tidak efektif. Tetapi jika dibandingkan dengan prestasi pemindahan haba CNT komersil terhadap bendalir piawai, CNT komersil tetap menunjukkan peningkatan yang lebih baik dari segi pemindahan haba.

#### **4.2.3 Ujian diantara bendalir piawai dan bendalir nano (NC300)**

Karbon nano tiub NC300 dihasilkan dengan menggunakan rawatan haba dimana prestasi terhadap pemindahan haba lebih baik jika dibanding dengan karbon nano tiub yang terdapat dipasaran. Hasil daripada ujian yang dijalankan terhadap karbon nano tiub NC300, prestasi pemindahan haba menunjukkan peningkatan yang amat baik. Prosedur ujian yang sama dilakukan seperti CNT komersil di dalam ujian akan dijalankan pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45 °C. Keputusan ujian adalah seperti berikut :

Jadual 4.10 : Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 6 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C ) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	7.82	9.67	7.73	10.66	7.96	6.78	8.21	6.95	8.05	6.82
1	14.5	7.89	18.72	7.86	7.94	6.79	8.25	6.97	8.24	6.84
2	11.27	7.47	9.16	6.78	8.02	6.82	8.28	7.02	8.37	6.86
3	8.92	9.11	8.19	6.75	8.07	6.84	8.37	7.04	8.58	6.91
4	9.54	8.24	8.09	6.75	8.08	6.86	8.5	7.1	8.65	6.92
5	11.78	7.69	8	6.78	8.05	6.85	8.63	7.12	8.75	6.94
6	9.17	8.78	7.98	6.79	8.03	6.89	8.64	7.12	8.72	6.97
7	9.24	8.87	8.03	6.81	8.02	6.91	8.41	7.08	8.74	6.97
8	9.52	8.53	8.02	6.8	8.1	6.92	8.46	7.12	8.73	6.97
9	9.59	8.55	8.01	6.83	8.18	6.94	8.51	7.1	8.74	7.02
10	9.59	8.54	8.01	6.84	8.18	7	8.48	7.06	8.74	7.02

Jadual 4.11: Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 25 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C ) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	26.82	26.27	26.61	26.17	26.05	25.63	25.89	25.51	26.8	26.32
1	26.7	25.79	26.5	25.72	26.06	25.64	25.92	25.51	26.58	25.85
2	26.29	25.68	26.02	25.64	26.07	25.64	26.06	25.59	26.16	25.7
3	26.15	25.68	26	25.64	26.09	25.65	26.44	25.6	26.13	25.71
4	26.17	25.7	26.06	25.65	26.11	25.65	26.61	25.55	26.16	25.71
5	26.22	25.73	26.09	25.65	26.14	25.65	26.42	25.55	26.19	25.71
6	26.24	25.72	26.1	25.66	26.16	25.68	26.39	25.57	26.22	25.73
7	26.27	25.74	26.15	25.68	26.17	25.68	26.25	25.56	26.33	25.73
8	26.12	25.75	26.14	25.7	26.23	25.67	26.23	25.56	26.48	25.75
9	26.11	25.74	26.15	25.71	26.23	25.7	26.22	25.56	26.47	25.76
10	26.12	25.76	26.15	25.72	26.23	25.7	26.22	25.57	26.48	25.75

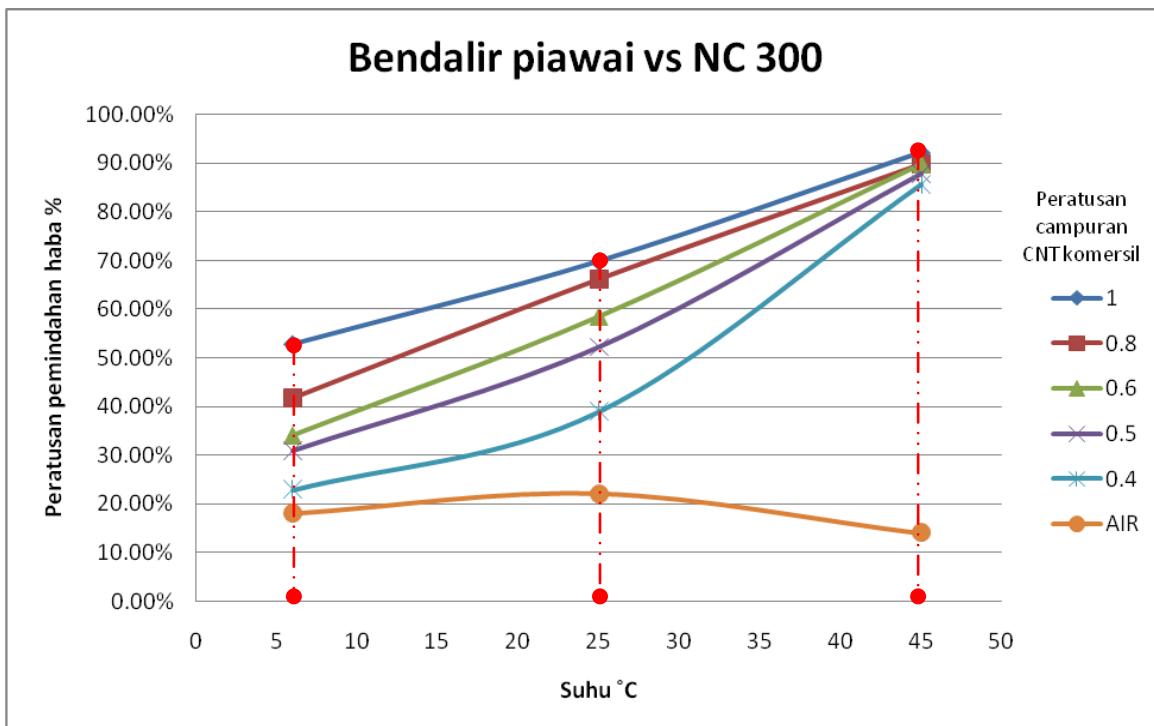
Jadual 4.12 : Keputusan perbezaan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan NC300 pada suhu 45 °C

Peratusan Campuran CNT %	0.4		0.5		0.6		0.8		1.0	
Suhu (°C ) / masa (m)	Suhu masuk	Suhu keluar								
0	43.03	44.75	43.09	44.58	40.66	42.27	43.04	44.58	42.42	43.87
1	39.56	44.91	36.8	45.13	36.26	44.58	38.48	44.78	35.53	45.01
2	44.95	45.84	44.24	45.72	42.5	45.24	44.56	45.59	43.86	45.54
3	45.1	45.81	44.52	45.73	43.3	45.27	44.8	45.61	44.1	45.56
4	44.95	45.78	44.56	45.73	43.4	45.3	44.81	45.59	43.98	45.59
5	44.86	45.73	44.59	45.72	43.41	45.32	44.84	45.6	43.76	45.6
6	44.83	45.73	44.6	45.72	43.45	45.34	44.76	45.62	43.44	45.59
7	44.76	45.71	44.61	45.74	43.49	45.36	44.56	45.62	42.98	45.56
8	44.8	45.72	44.61	45.74	44.05	45.4	44.25	45.63	43.77	45.57
9	44.76	45.71	44.63	45.77	44.07	45.42	44.26	45.65	43.76	45.57
10	44.76	45.74	44.61	45.77	44.07	45.44	44.25	45.64	43.77	45.57

Daripada ketiga-tiga data yang diperolehi, hanya tiga bacaan malar paling bawah iaitu pada minit ke 8, 9, dan 10 sahaja akan digunakan sebagai rujukan bagi menentukan prestasi pemindahan haba yang akan dibandingkan dengan nilai bendalir piawai. Bagi ketiga-tiga nilai tersebut, nilai purata harus kira terlebih dahulu bagi mendapatkan nilai tunggal bagi setiap suhu yang telah ditetapkan.

Jadual 4.13 : Peratusan purata bagi bendalir piawai dan campuran NC300 pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C

Sampel	Peratusan campuran CNT %	Suhu (°C)		
		6	25	45
Bendalir piawai	-	18.00	22.00	14.00
NC 300	0.4	22.9	39.0	85.6
	0.5	30.8	522	87.9
	0.6	34.1	58.5	89.8
	0.8	41.7	66.2	89.9
	1.0	52.9	69.9	92.2



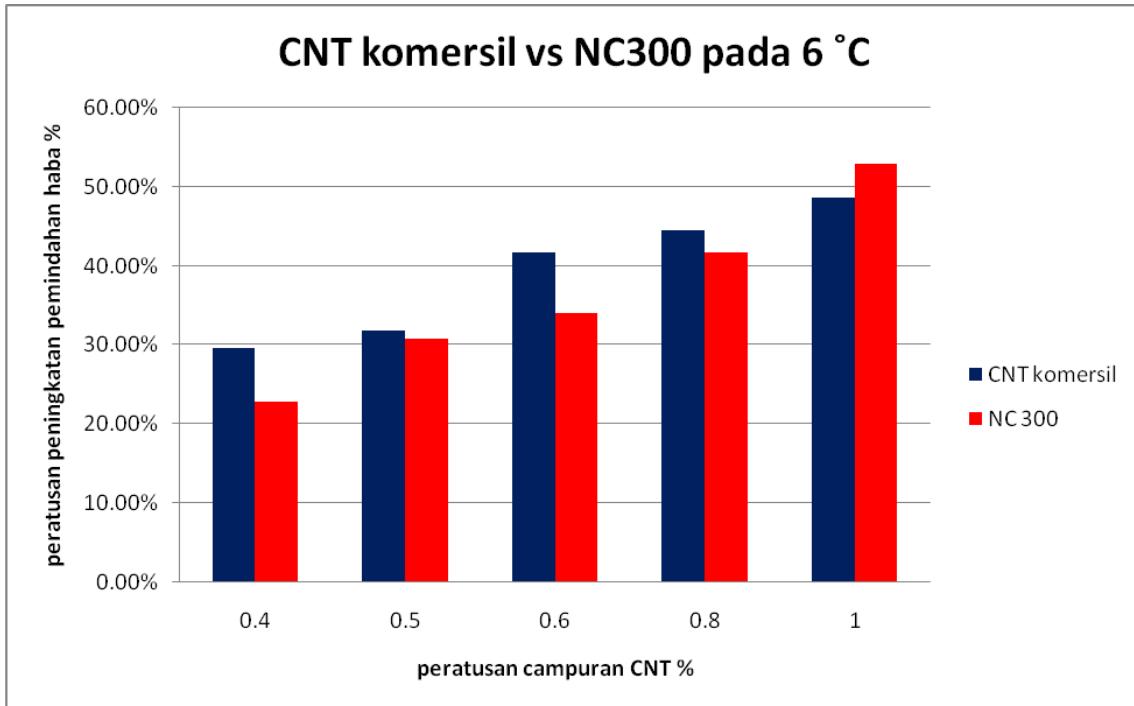
Rajah 4.6 : Graf bendalir piawai vs NC300 pada suhu 6 °C, 25 °C, dan 45°C

Rajah 4.6 menunjukkan pretasi pemindahan haba diantara bendalir piawai melawan NC 300 dimana campuran CNT NC 300 menunjukkan peningkatan jika dibandingkan dengan CNT komersil. Peningkatan pretasi pemindahan haba pada suhu 45 °C diantara peratusan campuran CNT 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, 0.8 %, dan 1.0 %, campuran CNT NC 300 adalah terbaik baik jika dibandingkan dengan jumlah peratusan peningkatan purata CNT komersil. Walaubagaimanapun peningkatan yang selari dimana jumlah perbezaan suhu diantara campuran CNT NC 300 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, 0.8 %, dan 1.0 % tidak begitu ketara. Perbezaan diantara campuran CNT NC 300 pada peratusan campuran CNT 0.4 % dan 1.0 % adalah sebanyak 6.6 %. Manakala pada suhu 6 °C pada peratusan campuran CNT 0.4 % dan 1.0 % perbezaan prestasi pemindahan haba sebanyak 30 % dan pada suhu 45 °C pada campuran 0.4 % dan 1.0 % perbezaan prestasi pemindahan haba sebanyak 30.9 %. Jika bendalir nano NC 300 diaplikasikan didalam industri, campuran CNT NC 300 pada 0.4 % sudah memadai kerana dari segi prestasi pemindahan haba menunjukkan peningkatan yang amat baik. Penggunaan campuran CNT yang sedikit sebanyak dapat menjimatkan kos. Ini kerana kuantiti penggunaan bendalir didalam sesuatu sistem didalam industri amat besar dan penghasilan bendalir nano juga mahal.

### 4.3 Perbandingan CNT komersil dan NC 300

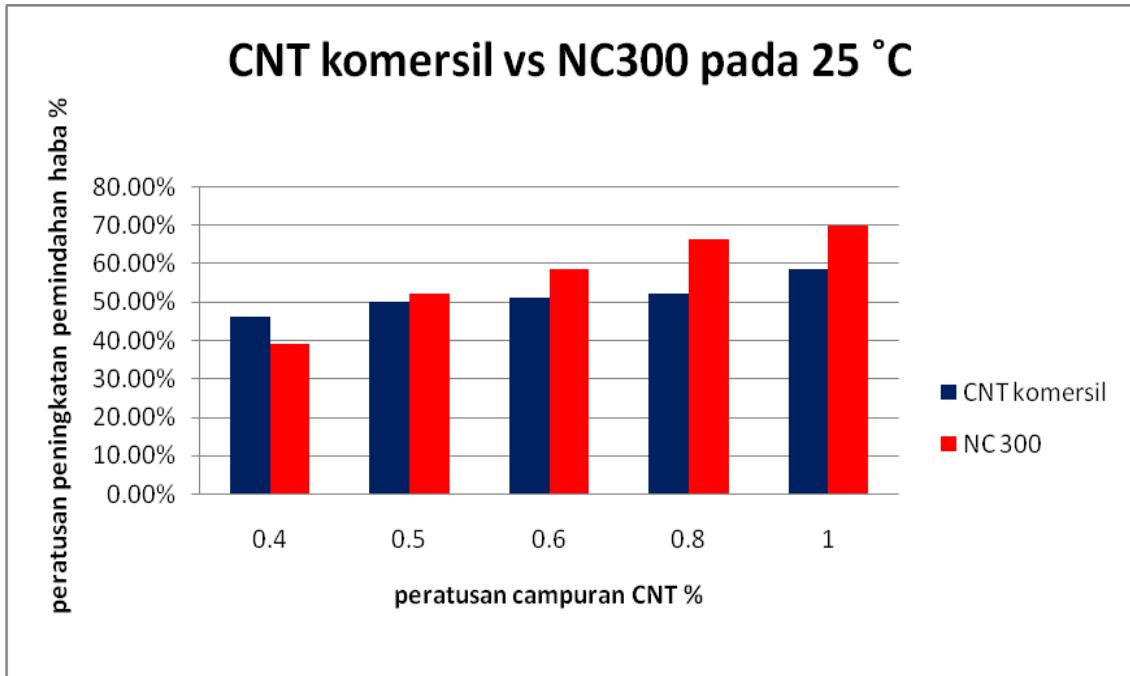
Jadual 4.14 : Peratusan purata bagi bendalir piawai, CNT komersil, dan NC 300

Sampel	Purata campuran CNT %	Suhu (°C)		
		6	25	45
CNT komersil %	0.4	29.60	46.30	17.60
	0.5	31.90	50.00	39.10
	0.6	41.70	51.10	48.10
	0.8	44.50	52.20	53.30
	1	48.70	58.50	60.00
NC 300 %	0.4	22.90	39.00	85.60
	0.5	30.80	52.20	87.90
	0.6	34.10	58.50	89.80
	0.8	41.70	66.20	89.90
	1	52.90	69.90	92.20



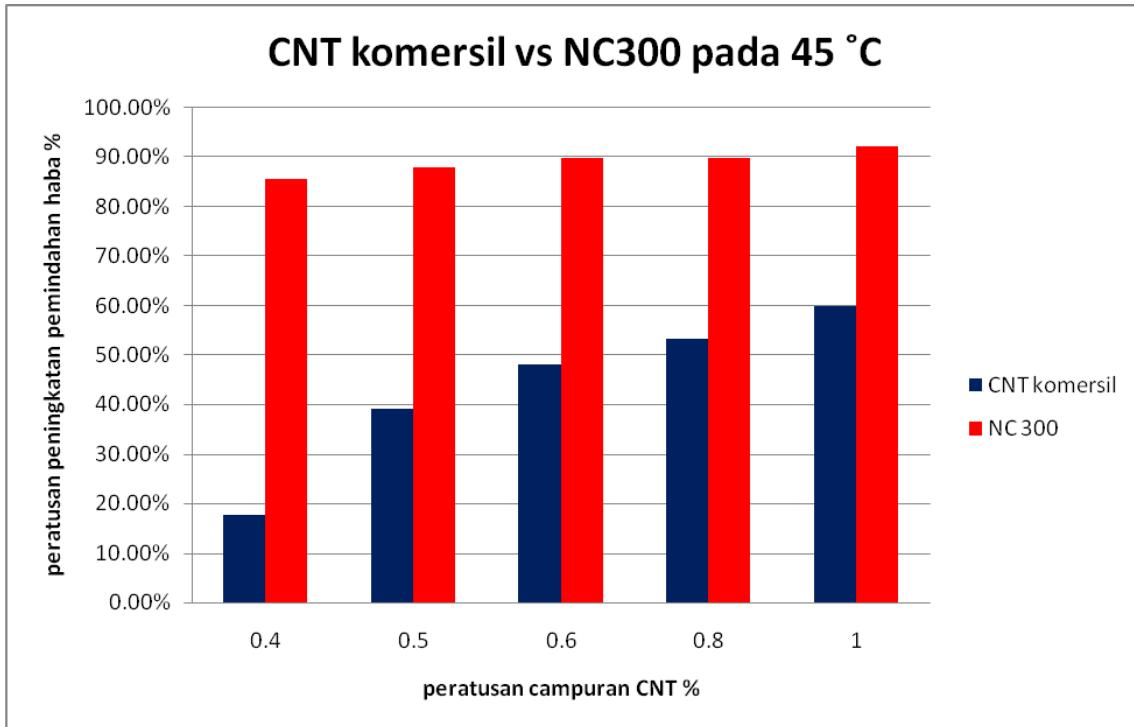
Rajah 4.7 : Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 6 °C

Rajah 4.7 menunjukkan CNT komersil menunjukkan prestasi pemindahan yang lebih baik pada peratusan campuran CNT 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, dan 0.8 % manakala NC300 pula menunjukkan prestasi peningkatan haba yang baik pada peratusan campuran CNT 1.0 %. Ini terbukti bahawa pemindahan haba pada suhu rendah, CNT komersil adalah lebih baik jika dibandingkan dengan NC300. Bagi peratusan pemindahan terbaik, campuran CNT komersil 0.6 % menunjukkan peningkatan pemindahan haba tertinggi iaitu sebanyak 7.6 % berbanding pada peratusan campuran CNT 0.4 %, 0.5 %, 0.8 %, 1.0 % dimana masing-masing mencatatkan perubahan pemindahan suhu sebanyak 6.7 %, 1.1%, 2.8%, dan 7%.



Rajah 4.8 : Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 25 °C

Rajah 4.8 menunjukkan perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 25 °C. Perbezaan pemindahan haba yang tidak begitu ketara diantara semua peratusan campuran CNT. Walaubagaimana pun NC 300 tetap menunjukkan peningkatan haba yang baik jika dibandingkan dengan CNT komersil. NC 300 menunjukkan peningkatan pada peratusan campuran CNT 0.5 %, 0.6 %, 0.8 %, dan 1.0 % iaitu sebanyak 52.2 %, 58.5 %, 66.2 %, dan 69.9 % berbanding CNT komersil hanya menunjukkan peningkatan sebanyak 50.0 %, 51.1 %, 52.2 %, dan 58.5 %. Pada peratusan campuran CNT komersil 0.4 %, CNT komersil menunjukkan keputusan yang lebih baik iaitu sebanyak 46.3 % berbanding NC 300 iaitu sebanyak 39 %. Pada campuran CNT 0.8 %, perubahan haba mencatatkan perbezaan tertinggi iaitu sebanyak 14 % jika dibandingkan dengan campuran CNT 0.5 %, 0.6 %, dan 1.0 % iaitu masing-masing mencatatkan perbezaan sebanyak 2.2 %, 7.4 %, dan 11.4%.



Rajah 4.9 : Graf perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 45 °C

Rajah 4.9 menunjukkan perbezaan diantara CNT komersil dan NC 300 pada suhu 45 °C. Peningkatan suhu yang amat ketara pada NC 300 dibanding dengan CNT komersil dimana NC 300 menunjukkan perubahan haba yang paling baik. Perbezaan haba yang telah dicatatkan menunjukkan campuran CNT pada 0.4 %, 0.5 %, 0.6 %, 0.8 %, dan 1.0 % ialah 68 %, 48.8 %, 41.7 %, 36.6 %, dan 32.2 %. Ini menunjukan NC 300 lebih efektif pada suhu tinggi dengan hanya campuran CNT yang sedikit, prestasi pemindahan haba adalah lebih baik jika dibandingkan dengan campuran CNT yang lain.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN CADANGAN

#### 5.1 Kesimpulan

Pembinaan alat ujikaji miniatur adalah bertujuan untuk menguji keberkesanan pemindahan haba diantara bendalir piawai dan bendalir nano. Kajian terdahulu membuktikan bahawa kekonduksian bendalir nano lebih baik berbanding air komersil ataupun bendalir piawai. Bagi menyempurnakan objektif kajian, alat pemindahan haba yang terdapat dipasaran akan dijadikan sebagai rujukan. Contoh alat pemindahan haba yang terdapat di dalam pasaran seperti pendingin hawa cecair dan menara penyejuk. Konsep awal pembinaan alat ujikaji miniatur pemindahan haba adalah sama seperti pendingin hawa cecair tetapi rekaannya didalam bentuk yang kecil. Terdapat empat jenis lakaran awal yang telah perkenalkan iaitu jenis kekotak, jenis gegelung, jenis gegelung tegak dan jenis gegelung melintang. Jenis gegelung melintang dipilih sebagai alat pemindahan haba dimana rekabentuk gegelung melintang menepati ciri-ciri pemindahan haba yang terdapat didalam pasaran dan kebolehkeberkesanan sebagai alat pemindahan haba. Semasa ujian dijalankan jenis gegelung melintang telah berfungsi dengan baik dimana data yang diperolehi bagi pemindahan haba akan dibandingkan dengan data kekonduksian haba dimana data yang diperolehi hampir serupa.

Data kekonduksian haba diperolehi daripada kajian lepas dimana ia yang akan dijadikan sebagai rujukan. Hasil daripada ujian yang telah dijalankan, terbukti bahawa alat ujikaji miniatur pemindahan haba jenis gegelung melintang mencapai objektif kajian sebagai alat pemindahan haba. Selepas pembinaan alat ujikaji miniatur pemindahan haba jenis gegelung melintang siap dibina, ujian terhadap bandalir piawai dan bendalir nano dijalankan. Terdapat tiga jenis ujian yang telah dijalankan iaitu diantara bendalir piawai dan bendalir ternyahion, bendalir piawai dan CNT komersil, dan bendalir piawai dan NC 300. Ujian terhadap bendalir piawai dan bendalir ternyahion menunjukkan data pemindahan haba pada suhu 6 °C, 25 °C dan 45 °C direkodkan. Data yang diperolehi akan dijadikan sebagai rujukan terhadap bendalir nano.

Bagi ujian yang telah dijalankan terhadap bendalir piawai dan CNT komersil, data menunjukkan peningkatan yang amat ketara jika dibandingkan dengan data yang telah diperolehi daripada bendalir piawai dimana peratusan tertinggi dicatatkan pada campuran CNT komersil 1.0 % pada suhu 45 °C iaitu sebanyak 30.7 % dan pada campuran CNT komersil 0.4 % pada suhu 6 °C iaitu sebanyak 11.6 %. Bagi ujian yang telah dijalankan terhadap bendalir piawai dan NC 300, peningkatan pemindahan haba dicatatkan yang tertinggi dicatatkan berbangding bendalir piawai dan CNT komersil dimana peningkatan tertinggi dicatatkan pada larutan CNT NC 300 1.0 % pada suhu 45 °C iaitu 78.2 % manakala pada larutan CNT NC 300 0.4 % pada 6 °C iaitu sebanyak 4.9 %.

Bagi ujian yang telah dijalankan terhadap dua bendalir nano yang berbeza iaitu CNT komersil dan NC 300 menunjukkan bahawa NC 300 merupakan bendalir nano terbaik dari segi pemindahan haba pada suhu tinggi dan suhu sederhana manakala CNT komersil menunjukkan pemindahan haba yang baik pada suhu rendah. Secara keseluruhan, NC 300 adalah terbaik dimana data yang diperolehi pada suhu 25 °C dan 45 °C menunjukkan peningkatan tertinggi. Hasil daripada ujian yang telah dijalankan, terbukti bahawa bendalir nano mempunyai prestasi haba yang baik jika dibandingkan dengan bendalir komersil.

## 5.2 Cadangan

Pada alat ujikaji miniatur pemindahan haba, lilitan tembaga yang dijadikan sebagai tempat pemindahan haba terlalu pendek. Cadangan untuk kajian akan datang, lilitan tembaga tersebut harus dipanjangkan bagi membolehkan pemindahan haba berlaku dengan lebih baik. Lilitan tembaga yang pendek menyebabkan pemindahan haba berlaku juga kurang efektif yang akan menyebabkan data yang diperolehi tidak begitu tepat. Apabila lilitan tembaga dipanjangkan, isipadu bandalir nano juga harus ditambah bagi mengelakkan kekurangan bendalir nano semasa ujian dilakukan.

Alat pemanas air diperlukan untuk kajian yang akan datang dimana alat ini digunakan untuk menetapkan suhu didalam takungan. Suhu didalam takungan semasa ujian dilakukan bergantung kepada suhu bilik. Jika suhu bilik tinggi atau suhu bilik rendah, bacaan pemindahan suhu tidak begitu tepat seterusnya ketepatan bacaan pemindahan haba tidak begitu tepat.

## RUJUKAN

Agostiano, A., Catalano, M., Curri, M. L., Della Monica, M., Manna, L., and Vasanelli, L.(2000). "Synthesis and structural characterisation of CdS nanoparticles prepared in a four-components "water-in-oil" microemulsion." *Micron*, 31(3), 253-258.

Arik, M., Bar-Cohen, A., and You, S. M. (2007). "Enhancement of pool boiling criticalheat flux in dielectric liquids by microporous coatings." *International Journal of Heatand Mass Transfer*, 50(5-6), 997-1009.

Assael, M. J., Chen, C. F., Metaxa, I., and Wakeham, W. A. (2004). "Thermal Conductivity of Suspensions of Carbon Nanotubes in Water." *International Journal of Thermophysics*, 25(4), 971-985.

Assael, M. J., Metaxa, I. N., Arvanitidis, J., Christofilos, D., and Lioutas, C. (2005). "Thermal Conductivity Enhancement in Aqueous Suspensions of Carbon Multi-Walled and Double-Walled Nanotubes in the Presence of Two Different Dispersants." *International Journal of Thermophysics*, 26(3), 647-664.

A. Cherkasova and J. Shan.(2006). "Thermal conductivity enhancement of nanofluids" Carbon Nanotubes. Springer Netherland. Volume 222. 235-236

Bang, I. C., Chang, S. H., and Baek, W.-P.(2005a). "Direct observation of a liquid film under a vapor environment in a pool boiling using a nanofluid." *AppliedPhysics Letters*, 86(13), 134107-1341.

Bang, I. C., Chang, S. H., and Baek, W.-P. (2005b). "Visualization of a principle mechanism of critical heat flux in pool boiling." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(25-26), 5371-5385.

- Bang, I. C., and Heung Chang, S. (2005). "Boiling heat transfer performance and phenomena of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nano-fluids from a plain surface in a pool." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(12), 2407-2419.
- Chen, B., Wang, X., Zhang, Y., Xu, H., and Yang, R. (2006). "Experimental research on laminar flow performance of phase change emulsion." *Applied Thermal Engineering*, 26(11-12), 1238-1245.
- Chen, G. (1996). "Non local and non equilibrium heat conduction in the vicinity of nanoparticles." *Journal of Heat Transfer*, 118, 539-545.
- Chen, G., Borca-Tasciuc, D., and Yang, R. G. (2004). "Nanoscale Heat Transfer." *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, 7, 429-459.
- Choi, S. U. S. "Nanofluid technology : current status and future research." *Korea-U.S. Technical Conference on Strategic Technologies*, Vienna, VA, 1998.
- Choi, S. U. S., and Eastman, J. A. "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles." *International mechanical engineering congress and exhibition*, San Francisco, CA, 1995.
- Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E., and Grulke, E. A. (2001). "Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions." *Applied Physics Letters*, 79(14), 2252-2254.
- Chon, C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P., and Choi, S. U. S. (2005). "Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) thermal conductivity enhancement." *Applied Physics Letters*, 87(15), 153107-1531.

Chon, C. H., Paik, S. W., Tipton, J. B., and Kihm, K. D. (2006). "Evaporation and Dryout of Nanofluid Droplets on a Microheater Array." *Journal of Heat Transfer*, 128(8), 735.

Das, S. K., Choi, S. U. S., and Patel, H. E. (2006). "Heat transfer in Nanofluids – A review." *HeatTransferEngineering*, 27(10), 3.

Dongsheng Wen and Yulong Ding (2004) "Effective thermal conductivity of aqueous suspensions of carbon nanotubes (carbon nanotube nanofluids)" *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*. 18 (4). 481.

Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Soyez, G., Thompson, L. J., and DiMelfi, R. J. "Novel thermal properties of nanostructured materials." *Materials Science Forum*, Switzerland, 629-634, 1999.

Eastman, J. A., Phillpot, S. R., Choi, S. U. S., and Keblinski, P. (2004). "Thermal Transport in Nanofluids." *Annual Review of Materials Research*, 34(1), 219-246.

Einstein, A. (1906). "A new determination of the molecular dimensions." *Annalen Der Physik*, 19, 289-306.

Etemad, S. G., Heris, S. Z., and Esfahany, M. N. (2006). "Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33(4), 529-535.

Evans, W., Fish, J., and Keblinski, P. (2006). "Role of Brownian motion hydrodynamics on nanofluid thermal conductivity." *Applied Physics Letters*, 88(9), 093116.

Farid, M. M., Khudhair, A. M., Razack, S. A. K., and Al-Hallaj, S. (2004). "A review on phase change energy storage: materials and applications." *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1597-1615.

- Golobiac, I., and Ferjancic, K. (2000). "The role of enhanced coated surface in pool boiling CHF in FC-72." *Heat and Mass Transfer*, 36(6), 525-531.
- Gosselin, L., and Silva, A. K. d. (2004). "Combined ``heat transfer and power dissipation" optimization of nanofluid flows." *Applied Physics Letters*, 85(18), 4160-4162.
- Granqvist, C. G., and Hunderi, O. (1978). "Conductivity of inhomogeneous materials: Effective-medium theory with dipole-dipole interaction." *Physical Review B*, 18(4), 1554 -1561.
- Gross, U., and Song, Y. W. (1996). "Thermal conductivities of new refrigerants R125 and R32 measured by the transient hot-wire method." *International Journal of Thermophysics*, 17(3), 607-619.
- Guo, L., Yang, S., Yang, C., Yu, P., Wang, J., Ge, W., and Wong, G. K. L. (2000). "Highly monodisperse polymer-capped ZnO nanoparticles: Preparation and optical properties." *Applied Physics Letters*, 76(20), 2901-2903.
- Gupte, S. K., Advani, S. G., and Huq, P. (1995). "Role of Micro-Convection Due to Non Affine Motion of Particles in a Mono-Disperse Suspension." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38(15), 2945-2958.
- Hamilton, R. L., and Crosser, O. K. (1962a). *I and EC Fundamentals*. Hamilton, R. L., and Crosser, O. K. (1962b). "Thermal Conductivity of Heterogeneous Two Component Systems." *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, (3), 187-191.
- Han, Z. H., and Yang, B. (2008). "Thermophysical characteristics of water-in-FC72 nanoemulsion fluids." *Applied Physics Letters*, 92(1), 013118.

- Han, Z. H., Yang, B., Kim, S. H., and Zachariah, M. R. (2007). "Application of hybrid sphere/carbon nanotube particles in nanofluids." *Nanotechnology*, 18, 105701.
- Hasselman, D. P. H., and Johnson, L. F. (1987). "Effective Thermal Conductivity of Composites with Interfacial Thermal Barrier Resistance." *Journal of composite Materials*, 21(6), 508-515.
- Hong, K. S., Hong, T.-K., and Yang, H.-S. (2006). "Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles." *Applied Physics Letters*, 88(3), 31901-311.
- H. Xie et.al.(2003). "Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities" *J. Appl. Phys.* 94, 4967.
- Inaba, H. (2000). "New challenge in advanced thermal energy transportation using functionally thermal fluids." *International Journal of Thermal Sciences*, 39(9-11), 991-1003.
- Inaba, H., Zhang, Y., Horibe, A., and Haruki, N. (2007). "Numerical simulation of natural convection of latent heat phase-change-material microcapsule slurry packed in a horizontal rectangular enclosure heated from below and cooled from above." *Heat and Mass Transfer*, 43(5), 459-470.
- Jang, S. P., and Choi, S. U. S. (2004). "Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids." *Applied Physics Letters*, 84(21), 4316-4318.
- Jeffrey, D. J. (1973). "Conduction Through a Random Suspension of Spheres." *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 335( 1602), 355-367.

Jiang, H., Moon, K.-s., Dong, H., Hua, F., and Wong, C. P. (2006). "Size-dependent melting properties of tin nanoparticles." *Chemical Physics Letters*, 429(4-6), 492-496.

Jiang, J. S., Gao, L., Yang, X. L., Guo, J. K., and Shen, H. L. (1999). "Nanocrystalline NiZn ferrite synthesized by high energy ball milling." *Journal of Materials Science Letters*, 18(21), 1781-1783.

Jiang, L., Gao, L., and Sun, J. (2003). "Production of aqueous colloidal dispersions of carbon nanotubes." *Journal of Colloid and Interface Science*, 260(1), 89-94.

J.Che et.al.(2000)."Thermal conductivity of carbon nanotubes" Nanotechnology. 11. 65-69.

K. J. Lee et.al (2007). "Carbon Nanofibers: A Novel Nanofiller for Nanofluid Applications" Small. 3. 1209-1213.

Min-Sheng Liu et. Al (2005), "Enhancement of Thermal Conductivity with Carbon Nanotube for Nanofluids" International Communication in Heat and Mass Transfer, 32, 1202-1210

M.J. Assael et.al.(2004). "Thermal Conductivity of Suspensions of Carbon Nanotubes in Water" International Journal of Thermophysics. 25. 971-985.

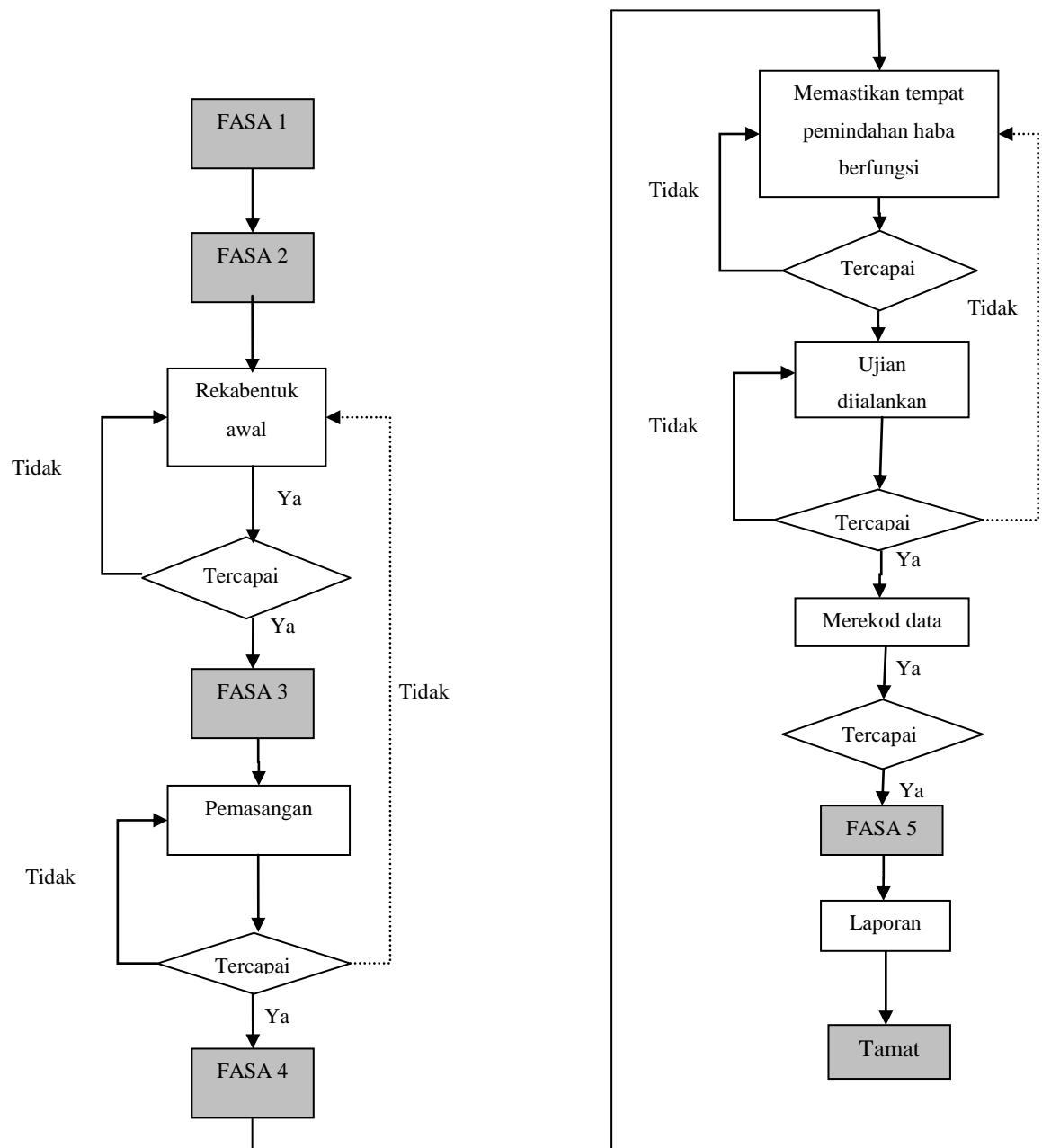
M. Chopkar et.al. (2006). "Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transferapplication" Scripta Materialia. 55. 549-552.

Naotsuhi Nakashima (2006), "Solubilization of Single-Walled Carbon Nanotubes with Condensed Aromatic Compound" Science and Technology of Advanced Materials, 7, 609-616

Soumen Jana, Amin Salehi Khojin and Wei Hong Zhong (2007). "Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additive" *Thermochimica Acta*. 462. 45-55.

## LAMPIRAN A

### Carta alir PSM



## LAMPIRAN B

## Carta gantt PSM 1

## Carta gantt PSM 2

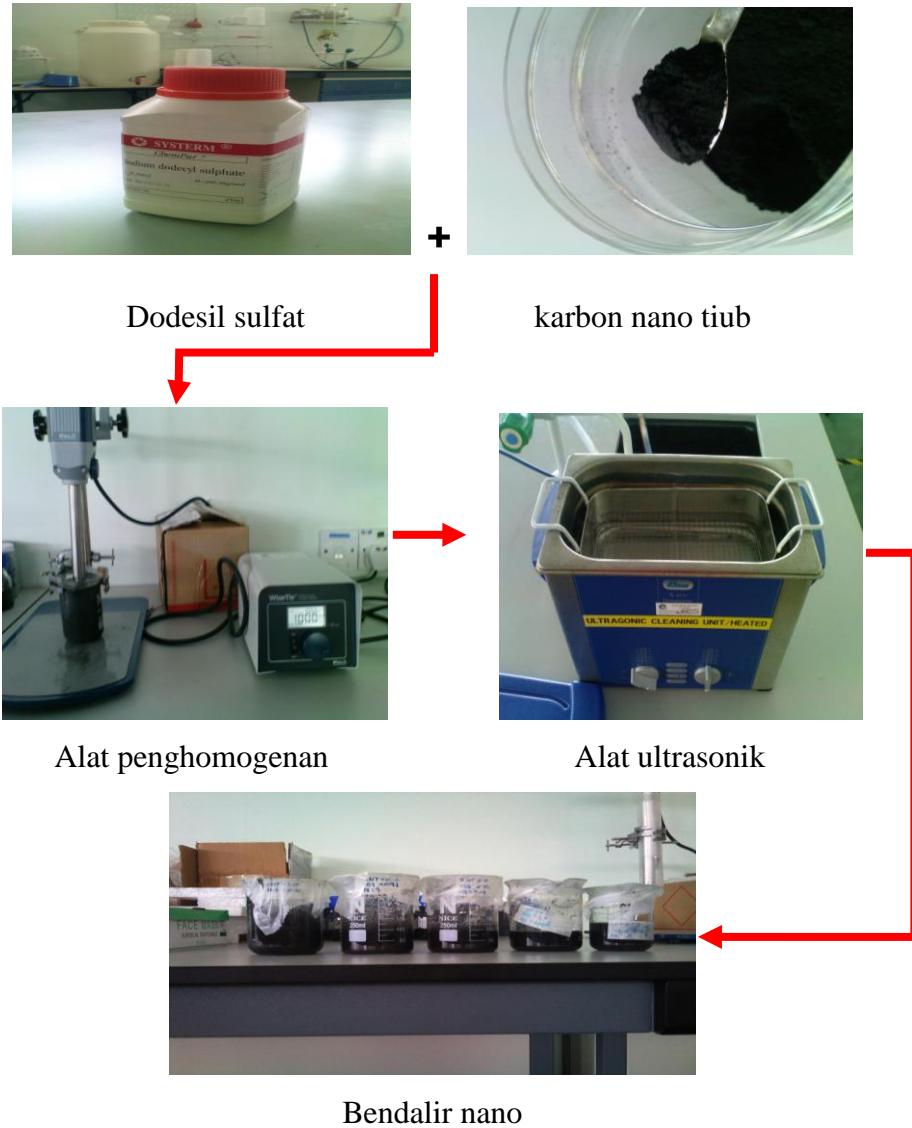
**LAMPIRAN C**

Komponen-komponen yang digunakan untuk menghasilkan alat ujikaji miniatur pemindahan haba

 A photograph showing several clear acrylic sheets and a clear acrylic frame or box.	 A photograph of a coiled copper wire with two wooden handles.
Acrylic	Cooper
 A photograph of a black power adapter connected to a black power cord.	 A photograph of a yellow and black utility knife with a retractable blade.
Pam	Pemotong acrylic
 A photograph of a clear plastic hose coiled on a white surface.	 A photograph of a black hot glue gun with a red trigger and a black power cord.
Hos	Pistol gam

**LAMPIRAN D**

Cara-cara penyediaan bendalir nano



## LAMPIRAN E

### Pengiraan pemindahan haba

Senarai sifat-sifat bendali nano dan bendalir piawai bagi bendalir nano NC 300 pada peratus campuran 0.4 %

- Ketumpatan bendalir ,  $\rho_a = 990 \frac{kg}{m^3}$
- Ketumpatan bendalir nano,  $\rho_{nf} = 2160 \frac{kg}{m^3}$
- Haba tentu bendalir,  $C\rho_a = 4066.5 \frac{J}{Kg.k}$
- Haba tentu bendalir nano,  $C\rho_{nf} = 650 \frac{J}{Kg.k}$
- Kelikatan bendalir,  $v = 0.0005 \frac{kg}{s.m}$
- Halaju,  $V = 1.2 \text{ m/s}$
- Diameter dalam tembaga,  $D_{in} = 0.004 \text{ m}$
- Diameter luar tembaga,  $D_{out} = 0.006 \text{ m}$
- Konduktiviti haba bendalir nano,  $k_{nf} = 2000 \frac{W}{m.K}$
- Konduktiviti haba bendalir,  $k_{nf} = 0.63842 \frac{W}{m.K}$
- Panjang lilitan tembaga,  $L = 0.765\text{m}$
- Konduktiviti haba tembaga,  $k_{nf} = 401 \frac{W}{m.K}$
- Pekali pemindahan haba,  $h = 13.1 \frac{W}{m.K}$
- Perubahan pemindahan haba,  $\Delta T = 1.8$
- Keluasan luar,  $A_i = 0.0000251327 \text{ m}^2$

- Keluasan dalam,

$$A_o = 0.0000565487m$$

- 1) Ketumpatan bendalir nano

$$\begin{aligned}\rho_{nf} &= (1 - \emptyset)\rho_f + \emptyset\rho_p \\ &= (1 - 0.004)990 + 0.004 * 2160 \\ &= 994.68 \frac{kg}{m^3}\end{aligned}$$

- 2) Haba tentu bendalir nano

$$\begin{aligned}C\rho_{1nf} &= \frac{(1-\emptyset)\rho_f C_{pf} + \emptyset\rho_p C_{pp}}{\rho_{nf}} \\ &= \frac{(1-0.004)4066.5 + 0.004 * 2160 * 650}{994.68} \\ &= 4036.82 \frac{J}{kg.k}\end{aligned}$$

- 3) Nombor Renold

$$\begin{aligned}Re &= \frac{\rho v D}{\mu} \\ &= \frac{2160 * 1.2 * 0.004}{0.00058} \\ &= 17875.86\end{aligned}$$

- 4) Kelikatan kinematik bendalir nano

$$\begin{aligned}\mu &= \nu(533.9 * \emptyset^2 + 39.11 * \emptyset + 1) \\ &= 0.000675422\end{aligned}$$

- 5) Nombor Prandtl

$$\begin{aligned}P_r &= \frac{C_p \mu}{k} \\ &= \frac{4036.82 * 0.000675422}{17.452} \\ &= 0.156234123\end{aligned}$$

6) Nombor Nusselt

$$\begin{aligned}
 Nu &= 4.364 + 0.0722 RePr \frac{D}{x} \\
 &= 4.364 + 0.0722 * 17875.86 * 0.156234123 \frac{0.004}{0.765} \\
 &= 0.156234123
 \end{aligned}$$

7) Pekali pemindahan haba

$$\begin{aligned}
 h_{nf} &= \frac{N_u K_{nf}}{D_i} \\
 &= \frac{0.156 * 17.452}{0.004} \\
 &= 23641.68 \frac{W}{m \cdot K}
 \end{aligned}$$

8) Pemindahan haba keseluruhan

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{u} &= \frac{1}{h_{nf} A_i} + \frac{x}{K_e A_i} + \frac{1}{h_{H2O} A_0} \\
 &= \frac{1}{23641.68 * 0.00002513} + \frac{0.002}{401 * 0.00002513} + \frac{1}{13.1 * 0.000005655} \\
 &= 1351.796 \frac{W}{m \cdot K} \\
 U &= 0.0007398 \frac{W}{m \cdot K}
 \end{aligned}$$

9) Kadar pengkali haba

$$\begin{aligned}
 q &= u A_o (\Delta T) \\
 &= \frac{0.00005655 * 1.8}{0.0007398} \\
 &= 0.001331562 \frac{W}{m}
 \end{aligned}$$