

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Prinsip Sistem Pendingin

Sistem pendinginan adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over heating* (panas yang berlebihan) pada mesin agar mesin bisa bekerja secara stabil. Fungsi dari sistem pendinginan pada kendaraan dapat dibagi menjadi empat yaitu:

1. Mencegah terjadinya *over heating*.

Panas yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara dapat mencapai temperatur sekitar  $2500^{\circ}\text{C}$  pada ruang bakar (Irfan, 2007: 6). Panas yang cukup tinggi ini dapat merusak logam atau bagian lain yang digunakan pada motor, hal ini disebabkan karena logam dan minyak pelumas pada suhu yang tinggi akan merusak komponen-komponen pada mesin dan apabila motor tidak dilengkapi dengan sistem pendinginan dapat merusak bagian-bagian dari motor tersebut.

2. Mempertahankan temperatur motor.

Temperatur motor harus dipertahankan, agar selalu pada temperatur kerja yang efisien. Hal ini dapat dilakukan dengan menyerap panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran yang berlebihan, berputarnya kipas pendingin ketika mesin dalam kondisi panas, dan katup *thermostat* yang membuka dalam kondisi mesin pada suhu kerja.

3. Mempercepat motor mencapai temperatur kerja.

Mempermudah pencapaian suhu kerja pada awal pengoperasian mesin.

4. Memanaskan ruangan di dalam ruang penumpang.

Pemanasan ruangan di dalam ruang penumpang berlaku pada negara-negara yang mengalami musim dingin.

#### 2.1.1. Jenis Sistem Pendingin

Ada dua jenis sistem pendingin yang sering digunakan yaitu pendinginan udara (pendingin langsung) dan pendinginan air (pendingin tidak langsung). Kedua cara di atas dapat menyerap panas sekitar 33% ke atmosfer (udara luar) melalui atau dengan daya konveksi, yaitu udara dihamburkan ke permukaan bahan logam yang panas.

1. Pendingin Udara (Pendingin Langsung)

Panas dari mesin yang bekerja atau berputar, dilewatkan melalui sirip, rusuk, atau *fins* ke udara luar. Biasanya digunakan pada mesin satu silinder atau kendaraan bardaya kecil.

Dasar penggunaan pada sistem pendinginan udara menurut Daryanto, tergantung pada hal sebagai berikut (dalam Irfan, 2007, p. 8):

1. Perbedaan temperatur antara panas mesin dengan udara luar/sekitar
2. Luas permukaan dimana panas dikeluarkan atau disemburkan
3. Tingkat aliran udara pada permukaan yang dikenai

Penggunaan sistem pendinginan udara mempunyai keuntungan seperti bahan bakar hemat dan keausan silinder berkurang, tidak ada bahaya kerusakan karena pembekuan.

Sistem pendinginan udara memiliki keburukan seperti suara mesin menjadi keras karena tidak menggunakan peredam suara dan pengontrolan suhu lebih sulit dibandingkan dengan sistem pendinginan air.

## 2. Pendinginan Air (Pendinginan Tidak Langsung)

Panas dilewatkan atau ditransfer ke air disekitar ruang bakar dan silinder. Panas yang diserap oleh air pendingin akan menyebabkan naiknya temperatur air pendingin tersebut. Panas dari air menurut Daryanto, ditransfer ke sirip radiator kemudian panas tersebut disemburkan ke udara, air kemudian kembali ke mesin (dalam Irfan, 2007, p. 8).

Dasar penggunaan/faktor menurut Daryanto, yang menentukan tingkat pendinginan air adalah sebagai berikut yaitu perbedaan temperatur antara air dan udara, perbandingan aliran air, luas permukaan kisi-kisi radiator, perbandingan aliran udara (dalam Irfan, 2007, p. 8).

Sistem pendinginan air mempunyai keuntungan antara lain lebih aman, karena ruang bakar dikelilingi oleh pendingin (terutama air dengan *adiktive* dan anti beku). Sistem pendinginan air disamping lebih aman juga mempunyai keuntungan lain seperti sebagai peredam bunyi, air dingin yang panas dapat digunakan sebagai sumber panas untuk pemanas udara di dalam kendaraan. Pengontrolan suhu pendinginan dalam sistem ini lebih mudah dibandingkan dengan sistem pendinginan udara karena pada sistem pendinginan terdapat *thermostat*,

pendinginan lebih merata, suhu kerja lebih cepat tercapai karena adanya *thermostat* yang akan bekerja pada waktu suhu mesin rendah.

Sistem pendinginan air menurut Daryanto, juga mempunyai kerugian antara lain lebih rumit dan lebih mahal dibandingkan dengan sistem pendingin udara (dalam Irfan, 2007, p. 9).

Cara kerja dari sistem pendinginan air adalah sebagai berikut :

1. Air pendingin dalam mantel pendingin yang menyelubungi silinder-silinder dalam blok silinder dan kepala silinder akan menyerap panas yang dihasilkan mesin saat beroperasi.
2. Mantel pendingin silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian atas dan mantel pendingin blok silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian bawah.
3. Air yang telah panas didalam mantel dialirkan ke radiator untuk didinginkan.
4. Pendinginan dilakukan oleh udara yang mengalir melalui kisi-kisi radiator. Aliran udara diperoleh dengan bantuan kipas yang digerakkan oleh motor listrik atau dengan memanfaatkan putaran mesin melalui *pulley* dan *belt*.

### **2.1.2. Komponen – Komponen Sistem Pendingin**

#### **1. Radiator**

Radiator berfungsi sebagai alat untuk mendinginkan air pendingin yang menyerap panas dari mesin dengan cara membuang panas tersebut melalui sirip-sirip radiator. Air dari radiator tersebut dikirim ke bagian yang didinginkan melalui selang radiator, baik dari radiator ke blok silinder ataupun dari blok silinder ke radiator.



Gambar 2.1 Radiator

Sumber: Irfan (2007, p. 10)

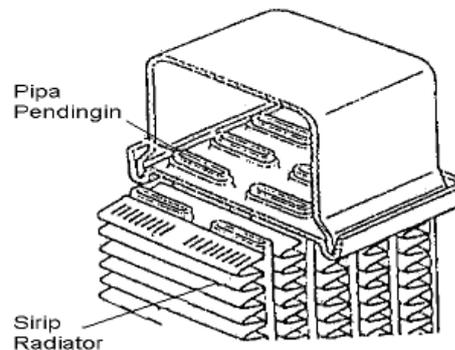
Konstruksi radiator terdiri dari :

1. Tangki Atas

Tangki atas berfungsi untuk menampung air panas dari mesin. Tangki ini juga dilengkapi dengan lubang pengisian, pipa pembuangan dan saluran masuk air dari mesin. Pipa pembuangan berhubungan dengan tangki *reservoir* untuk membuang kelebihan air sehingga tidak terdapat gelembung air dalam sistem.

2. Inti Radiator

Radiator berfungsi untuk membuang panas dari air ke udara agar temperatur menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Inti radiator terdiri dari pipa-pipa air untuk mengalirkan air dari tangki atas ke tangki bawah dan sirip-sirip pendingin untuk membuang panas air yang ada pada pipa.



Gambar 2. 2 Inti Radiator

Sumber: Irfan (2007, p. 11)

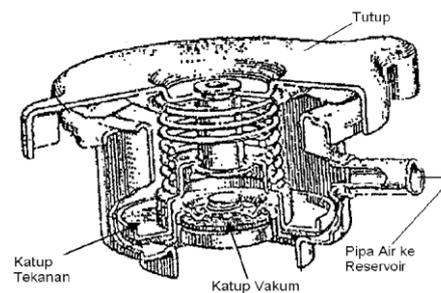
3. Tangki Bawah

Tangki bawah berfungsi untuk menampung air yang telah didinginkan oleh inti radiator dan selanjutnya disalurkan ke mesin melalui kerja pompa. Selain itu tangki bawah juga berhubungan dengan saluran pembuangan air pada saat dilakukan pengurasan air radiator.

2. Tutup Radiator

Fungsi dari tutup radiator:

1. Penutup radiator agar tidak terjadi kebocoran.
2. Membuat sistem menjadi bertekanan sehingga dapat mencegah terjadinya penguapan air dalam sistem (fungsi *relief valve*) dan mempercepat pencapaian suhu kerja mesin.
3. Untuk mengurangi tekanan apabila tekanan di dalam sistem berlebihan sehingga dapat mencegah kerusakan dari bagian sistem.
4. Mengalirkan air dari radiator ke penampung atau *reservoir* dan memasukkan kembali pada saat tekanan dalam radiator turun (fungsi katub *vacum*).



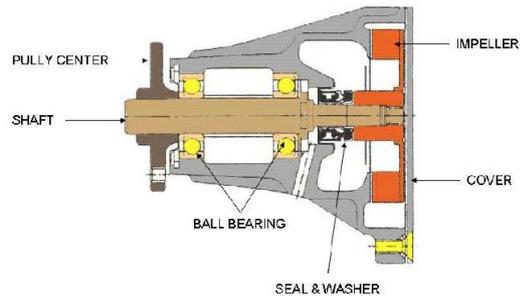
Gambar 2. 3 Tutup Radiator

Sumber: Irfan (2007, p. 12)

### 3. Pompa Air

Pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dari radiator ke silinder mesin. Pompa air yang digunakan dalam sistem pendingin Isuzu Panther adalah pompa tipe sentrifugal yang akan dipasangkan pada bagian depan blok silinder. Gerak putar pompa diperoleh dari putaran poros engkol melalui *pully* yang dihubungkan dengan *belt*.

Kelebihan dari pompa air mesin adalah mempunyai tekanan yang tinggi. Kerugiannya apabila terjadi kerusakan maka harus dilakukan penggantian satu unit pompa, sehingga jenis pompa ini tidak boleh dilakukan pembongkaran. Dalam pemasangannya pada kepala silinder, pompa ini dilengkapi dengan gasket yang berguna untuk mencegah terjadinya kebocoran air pendingin.



Gambar 2. 4 Pompa Air

Sumber: Irfan (2007, p. 13)

Bagian-bagian pompa dari air :

1. Poros (*shaft*)

Merupakan komponen utama pada pompa dimana bagian depannya dihubungkan dengan puli untuk mendapatkan tenaga dari putaran poros engkol sedangkan bagian belakang dihubungkan dengan *impeler* pompa.

2. *Impeler*

*Impeler* berfungsi untuk membuat perbedaan tekanan pada saat pompa bekerja. Pada mesin Isuzu Panther menggunakan sudu *impeler* yang berlawanan dengan arah putarnya, hal ini bertujuan untuk menciptakan aliran yang sempurna tanpa adanya *kavitasi*.

3. *Water Pump seal*

*Water pump seal* berfungsi untuk mencegah kebocoran air dari sistem pendingin pada poros pompa.

4. Kipas Pendingin

Untuk memastikan aliran udara yang benar melalui inti radiator dan sekitar mesin, pasang kipas dengan engkol mesin dan roda-roda puli. Kipas ini terdiri dari sebuah daun atau bilah yang terbuat dari baja tipis atau bahan plastik. Ketika baling-baling berputar, bilah (*blade*) menggerakkan udara ke dalam unit mesin.

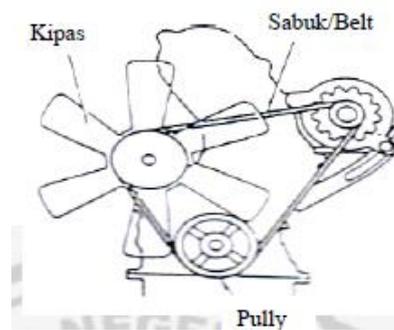
Kipas mempunyai tiga hal yang tidak menguntungkan yaitu:

1. Berisik
2. Menyerap tenaga mesin sebesar 2-3 tenaga kuda (tk)

3. Dalam keadaan panas atau dingin pendinginan tetap diperlukan, ketika mesin dinyalakan dalam kondisi dingin, kipas angin dengan segera menyebarkan udara dan menambah waktu pemanasan.

Bilah kipas yang fleksibel menurut Daryanto, terbuat dari plastik sehingga ketika kecepatan bertambah apabila sudut bilah digerakan oleh tekanan udara (dalam Irfan, 2007, p. 14). Metode ini mempunyai efek sebagai berikut:

1. Operasinya tenang pada saat mesin berkecepatan lebih tinggi
2. Sedikit tenaga yang diserap dengan kecepatan tinggi, bilah yang rata menggantikan sedikit udara dan untuk itu sedikit usaha diperlukan untuk memutar kipas.
3. Bilah plastik berbentuk lempeng, untuk mengurangi aliran udara di atas mesin dan juga beban ditempatkan pada mesin oleh kipas.



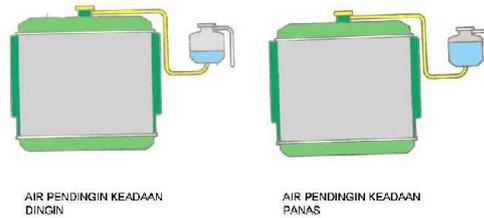
Gambar 2.5 Kipas Pendingin

Sumber: Irfan (2007, p. 15)

## 5. Tangki Cadangan

Tangki cadangan (*reservoir tank*) dihubungkan ke radiator dengan selang *over flow*. Apabila temperatur dan tekanan air pendingin naik menyebabkan cairan pendingin berekspansi. Saat tekanan dan volume melebihi kemampuan kerja tutup radiator maka cairan pendingin yang berlebihan akan dikirim ke *reservoir*. Apabila temperatur turun, maka cairan pendingin yang ada di dalam tangki cadangan akan kembali ke radiator. Hal ini untuk mencegah terbuangnya cairan pendingin saat diperlukan agar jumlahnya tetap. Pada Isuzu Panther menggunakan *reservoir tank* berbahan

dasar plastik dan berwarna putih, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam pengecekan volume air pendingin dalam radiator.

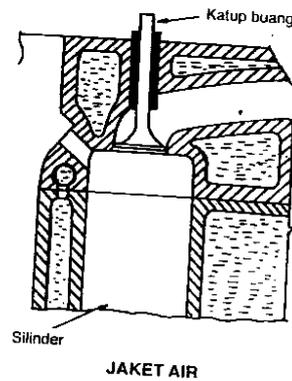


Gambar 2.6 Tangki Cadangan

Sumber: Irfan (2007, p. 16)

## 6. Mantel Pendingin

Mantel pendingin mengelilingi silinder-silinder dan kepala silinder, yang berfungsi untuk mendinginkan bagian-bagian pendingin silinder dan ruang bakar secara efektif. Mantel pendingin pada kepala silinder dan blok silinder berhubungan langsung dengan tangki radiator bagian atas.



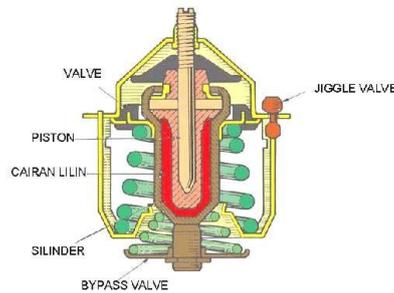
Gambar 2. 7 Mantel Pendingin

Sumber: Irfan (2007, p. 16)

## 7. Thermostat

*Thermostat* pada mesin Isuzu Panther dipasang pada blok silinder bagian atas atau lebih tepatnya pada *water inlet housing* dengan sambungan selang yang menyalurkan air dari mesin ke radiator. *Thermostat* tidak bekerja pada suhu di bawah  $80^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu tersebut *Thermostat* menutup sehingga

air hanya beredar di sekeliling blok silinder tidak sampai ke radiator, dengan demikian suhu motor dapat dikendalikan.



Gambar 2. 8 *Thermostat*

Sumber: Irfan (2007, p. 17)

Fungsi *Thermostat* yaitu untuk mengendalikan suhu mesin hingga mencapai suhu kerja. Jenis *Thermostat* yang digunakan pada mesin Isuzu Panther adalah tipe *wax pellet*. Tipe *wax pellet* ini menggunakan semacam lilin yang dapat mengembang pada saat dipanaskan dan akan menyusut pada waktu dingin.

Cara kerja:

Pada saat air pendingin panas kurang lebih pada suhu 80° C, *Wax Pellet* yang ada dalam *thermostat* akan memuai dan mendorong katup untuk membuka. Hal ini disebabkan karena pemuai lilin tersebut mampu menahan pegas, *thermostat*. Pada saat temperatur air pendingin telah dingin, maka *Wax Pellet* di dalam *thermostat* akan menyusut, sehingga pegas akan mendorong katup *thermostat* untuk menutup kembali.

#### 8. Pipa-Pipa Saluran (Selang)

Pemasangan saluran pendingin memerlukan pipa saluran yang fleksibel, seperti saluran utama bagian atas dan bagian bawah radiator serta saluran *bypass* dan saluran lainnya bisa digunakan untuk memindahkan zat pendingin menuju atau keluar dari mesin.

Saluran radiator membentuk suatu hubungan fleksibel dengan mesin dan radiator, sehingga memungkinkan untuk disirkulasikan dan meredam dari getaran mesin yang bergerak. Pipa atau selang menurut Daryanto terbuat dari karet, agar

dapat menjaga kestabilan temperatur, dan tekanan dalam sistem (dalam Irfan, 2007, p. 8).

Bagian luar selang menurut Daryanto, dibalut dengan selang penjepit yang berfungsi: membalut permukaan, menjaga tekanan dalam sistem dengan menahan kelenturannya dan menjadi peredam suhu dalam sistem pendinginan (dalam Irfan, 2007, p. 8).

Macam-macam selang dalam sistem pendingin antara lain :

1. Selang Radiator atas

Selang radiator atas berfungsi menghubungkan bagian atas dari radiator ke pengeluar (*outlet*) ruang pengukur panas dan menyalurkan air panas dari mesin ke radiator.

2. Selang radiator bawah

Selang radiator bawah berfungsi menghubungkan bagian lebih rendah pada ruang *thermostat* ke sisi jalan masuk pompa air dan menyalurkan air hangat dari radiator ke mesin.

3. Selang *bypass* (ketika dipasang)

Selang *bypass* (ketika dipasang) berfungsi untuk menghubungkan bagian lebih rendah pada ruang *thermostat* ke sisi jalan masuk pompa air dan menyediakan sirkulasi ke pompa ketika *thermostat* tertutup.

4. Selang pemanas

Selang pemanas biasanya digunakan untuk mengedarkan air ke pemanas kendaraan atau saluran masuk pompa. Satu selang menghubungkan bagian terendah ruang *thermostat* atau kepala silinder dan melangsungkan air panas ke pemanas. Selang yang lain menghubungkan ke sisi jalan masuk pada pompa air untuk menyalurkan air hangat kembali ke mesin.

5. Selang penjepit

Selang penjepit digunakan untuk melindungi kerapatan selang untuk macam-macam hubungan (pada ujung selang). Beberapa jenis dari selang

penjepit pada kendaraan antara lain jubilee, tipe skrup, dan tipe kancing atau spring.

#### 9. *Water Temperature Switch*

*Water Temperature Switch* terpasang pada saluran *inlet* sebelum *thermostat*. Fungsi dari komponen ini yaitu mengukur suhu temperatur mesin.

Cara kerjanya yaitu apabila kunci kontak ON mesin bekerja namun temperatur air masih dibawah  $92^{\circ}\text{C}$ , *Water Temperature Swicth* pada keadaan ini tahanan pada *water Temperature Swicth* akan tinggi sehingga jarum pada *thermometer* pada *dash bord* bergerak ke bawah.



Gambar 2. 9 *Water Temperature Switch*

Sumber: Irfan (2007, p. 20)

#### 10. *Coolant*

Pada mesin - mesin Isuzu Panther direkomendasikan menggunakan Isuzu Panther *genuine super coolant*. *Coolant* ini mempunyai kualitas tinggi berbahan dasar *ethilene glycol non-silicate, non amine, non nitrite, non borate* dengan *long-life hybrid organic acid technologi*. Keuntungan pendingin dengan menggunakan *coolant* yaitu

1. Air pendingin tidak dapat membeku.
2. *Coolant* bebas kapur, sehingga saluran-saluran selalu bersih.
3. Mencegah terjadi korosi pada komponen-komponen sistem pendingin.
4. Melumasi *thermostat* dan pompa air sehingga tidak macet.
5. Mencegah *over heating* pada mesin.

### 2.1.3. Sirkulasi Pendingin Air

Sirkulasi pendingin air secara garis besar ada 2 macam, yaitu:

#### 1. Sirkulasi Alam (Natural Circulation)

Sistem pendinginan pada sirkulasi jenis ini, akan terjadi dengan sendirinya yang diakibatkan perbedaan berat jenis air panas dengan yang masih dingin, dimana air yang telah panas berat jenisnya lebih rendah daripada air yang masih dingin. Contohnya motor diesel selinder tunggal-horisontal berpendingin air. Menurut Maleev, pada saat air dalam tangki dipanaskan maka air yang telah panas akan menempati bagian atas dari tangki dan mendesak air yang berada di atasnya segera mengalir ke pipa, air yang mengalir memasuki bagian bawah dari tangki dimana setelah dipanaskan air akan mengalir ke atas (dalam Islam, 2018, p. 5). Air yang berada di dalam tangki pada mesin disamakan dengan air yang berada pada mantel-mantel air. Panas diambil dari panas hasil pembakaran di dalam silinder. Radiator dipakai untuk mengubah temperatur air pendingin yang panas menjadi lebih dingin, maka sebagai pembuang panas air yang berada di dalam mantel-mantel air dipanaskan oleh hasil pembakaran di dalam ruang bakar dan silinder sehingga air tadi akan menyerap panas dan temperaturnya akan naik mengakibatkan turunnya berat jenis sehingga air tadi akan didesak ke atas oleh air yang masih dingin dari radiator. Air yang panas akan mengalir dengan sendirinya ke bagian atas radiator dimana selanjutnya temperaturnya akan turun karena telah dibuang sebagian oleh radiator. Pada saat yang bersamaan dengan turunnya air pada radiator juga terjadi pembuangan panas yang besar sehingga mempercepat turunnya air pada radiator. Turunnya air akan mendesak air yang telah panas dari mesin ke radiator bagian atas.

#### 2. Sirkulasi dengan tekanan

Sirkulasi jenis ini hampir sama dengan sirkulasi jenis aliran hanya saja pada sirkulasi ini ditambahkan tekanan untuk mempercepat terjadinya sirkulasi air pendingin, pada sistem ini ditambahkan pompa air. Pompa air ini ada yang ditempatkan pada saluran antara radiator dengan mesin dimana air yang mengalir ke mesin ditekan oleh pompa, ada juga yang ditempatkan pada

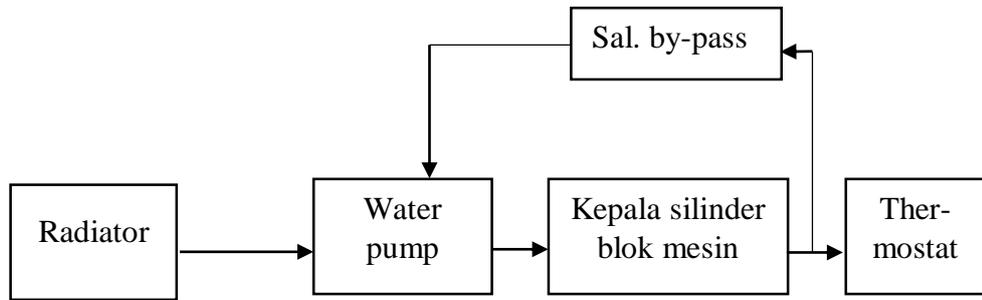
saluran antara mesin dengan radiator. Sirkulasi jenis ini banyak digunakan pada mesin-mesin mobil karena dapat berlangsung dengan sempurna dan air yang berada di dalam mantel-mantel air tetap dalam keadaan penuh tanpa ada gelembung udara. Menurut Maleev pada sirkulasi jenis ini kecenderungan air untuk mendidih sangatlah kecil sekali karena tekanannya melebihi tekanan atmosfer yang berarti titik didihnya akan berada jauh diatas  $100^{\circ}\text{C}$  (dalam Islam, 2018, p. 6).

#### **2.1.4. Cara Kerja Radiator**

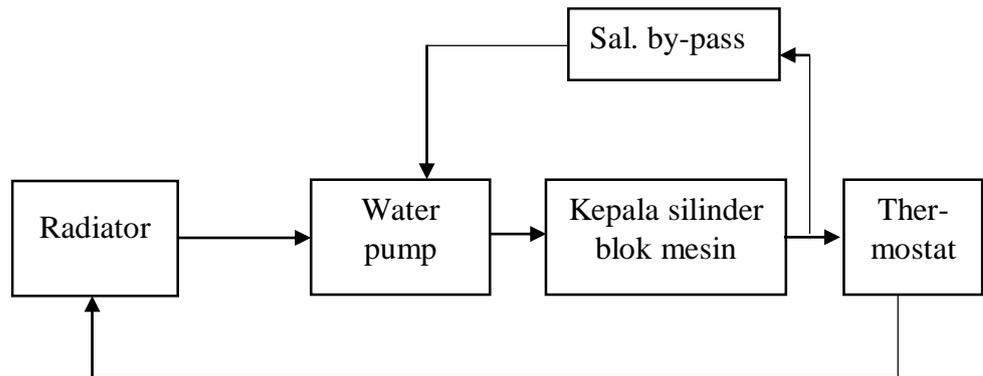
Prinsip kerja sistem pendingin adalah sirkulasi air pendingin dimulai dari radiator kemudian air ditekan oleh pompa air dan dikirim ke kantong-kantong (*water jacket*) pada silinder mesin, pompa ini terpasang pada bagian depan dari mesin dan digerakkan oleh poros engkol melalui *V-belt*. Air yang berada di *water jacket* berfungsi untuk mendinginkan mesin. Jumlah debit air dalam *water jacket* harus selalu dalam keadaan penuh dan tidak boleh terdapat gelembung air yang dapat mengakibatkan penguapan.

Saat mesin hidup (dalam kondisi dingin) air pendingin dalam radiator tidak dapat bersirkulasi karena adanya termostat. Keadaan ini akan mempercepat proses naiknya temperatur kerja mesin. Katup *Thermostat* akan membuka penuh apabila suhu air telah mencapai suhu kerja mesin sekitar  $82^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ . Terbukanya katup *Thermostat* menyebabkan air pendingin dapat bersirkulasi dan mendinginkan mesin dan mempertahankan suhu kerja mesin. Air yang telah menyerap panas mesin mengalir menuju radiator melalui selang atas dan didinginkan dengan persinggungan udara yang dilewatkan pada sirip-sirip yang menyelubungi pipa air. Apabila tekanan pada sistem pendingin mesin berlebihan maka tutup radiator akan mengalirkan air menuju *reservoir tank*.

Secara garis besar siklus aliran air dalam sistem pendingin dapat dijelaskan dalam skema berikut ini:



Skema pada saat *engine* dingin



Skema pada saat *engine* panas

Gambar 2. 10 Skema kerja engine

Air yang telah didinginkan dalam radiator kemudian ditekan oleh pompa air kembali menuju *water jacket* dalam silinder dan mengambil panas dari mesin dan bersirkulasi menuju kepala silinder dan kembali ke *thermostat* menuju saluran masuk untuk didinginkan pada radiator oleh kerja kipas pendingin. Demikian seterusnya siklus kerja dalam sistem pendingin mesin untuk mempertahankan suhu kerja antara  $82^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $90^{\circ}\text{C}$  sehingga dapat menghasilkan tenaga yang optimal dari mesin (Irfan, 2007, p. 22).

### 2.1.5. Cairan Pendingin

Fluida atau cairan pendingin yang biasa dipakai ialah air. Fluida ini dalam proses pendinginan akan bergerak atau disirkulasikan untuk mengambil panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin yang kemudian akan didinginkan pada radiator. Namun sebagai media penyerap panas, air ini mempunyai beberapa efek yang merugikan, antara lain:

1. Air nantinya akan menimbulkan endapan kotoran pada saluran pendingin dan *water jacket*, kerusakan itu dapat berbentuk korosi/karat yang dalam jangka waktu yang relatif lama akan menimbulkan kerusakan.
2. Air mempunyai sifat akan membeku pada temperatur yang rendah, keadaan ini tentunya akan menyebabkan sirkulasi mengalami gangguan atau masalah.
3. Air juga berpotensi mengandung kapur yang dapat menyebabkan endapan dalam pipa-pipa radiator. Keadaan ini tentunya akan mengakibatkan penyumbatan pipa-pipa tersebut.

## **2.2. Property of Coolant**

*Coolant* adalah fluida yang mengalir melalui atau mengelilingi suatu perangkat untuk mencegah terjadinya overheating dengan mengirim panas yang dihasilkan perangkat satu ke perangkat lain. Karakteristik dari sebuah coolant yang ideal adalah memiliki kapasitas termal yang tinggi, viskositas yang rendah, keterjangkauan, tidak beracun dan secara kimia tidak menyebabkan korosi (Kimulu, Mutuku, & Mutua, 2018, p.17).

## **2.3. Heat Transfer**

### **2.3.1. Kalor**

#### 1. Satuan Kalor

Satuan kalor adalah kalori (kal) atau kilo kalori (kkal). 1 kalori/kilo kalori adalah jumlah kalor yang diterima/dilepaskan oleh 1 gram/1 kg air untuk menaikkan/menurunkan suhunya 1°C. 1 joule=0,24 kalori atau 1 kalori=4,2 joule.

#### 2. Kalor Jenis (c)

Kalor jenis zat adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu 1 kg massa zat sebesar 1°C atau 1 K. Jika kalor jenis suatu zat = c, maka untuk menaikkan/menurunkan suatu zat bermassa m, dengan suhu °C, kalor yang diperlukan/dilepaskan adalah:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (2. 1)$$

Keterangan:

Q = kalor yang diperlukan atau dilepaskan (J atau kal)

M = massa benda (kg)

$c$  = kalor jenis (J/kg°C)

$\Delta T$  = perubahan suhu benda (°C)

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan:

1. Kalor yang diberikan pada benda sebanding dengan kenaikan suhu.
  2. Kalor yang diberikan pada benda menaikkan suhu sebanding massa benda.
  3. Kalor yang diberikan pada benda menaikkan suhu tergantung jenis benda
3. Asas Black

Ketika kita mencampurkan segelas air panas dengan segelas air dingin, maka suatu saat akan didapatkan suhu akhir. Suhu akhir ini berada di antara suhu air dingin dan suhu air panas. Demikian pula jika dua buah zat/benda dengan suhu berbeda, dicampurkan suatu saat akan mempunyai suhu yang sama. Ini terjadi karena benda dengan suhu tinggi akan melepaskan kalor. Kalor yang dilepaskan ini akan diserap oleh benda yang bersuhu lebih rendah. Jika kedua benda terisolasi dengan baik, maka jumlah kalor yang dilepas sama dengan jumlah kalor yang diterima. Atau “*Jika dua macam zat yang berbeda suhunya dicampurkan, maka zat yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan kalor yang sama banyaknya dengan kalor yang diserap oleh zat yang suhunya lebih rendah*”. Pernyataan ini disebut sebagai Asas Black. Asas Black merupakan bentuk lain dari Hukum Kekekalan Energi. Persamaan Asas Black dapat dirumuskan:

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}} \quad (2. 2)$$

### 2.3.2. The Log Mean Temperature Difference Method

Menurut Yunus dan Afshin (2015), *the log mean temperature difference* ( $\Delta T_{lm}$ ), pada kasus tertentu dapat diyakini bahwa persamaan *the log mean temperature difference* ( $\Delta T_{lm}$ ) pada *counter-flow* dapat dihubungkan juga untuk kasus *cross-flow* dan *multipass shell-and-tube*, di mana persamaan *the log mean temperature difference* ( $\Delta T_{lm}$ ) sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = F \Delta T_{lm, CF} \quad (2. 3)$$

$$\Delta T_{lm, CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

Keterangan:

$\Delta T_{lm}$  = *The log mean temperature difference* (°C)

F = *Correction factor*

$\Delta T_{lm,CF}$  = *The log mean temperature difference untuk counter-flow* (°C)

$\Delta T_1$  = Selisih antara *temperature* fluida yang masuk dalam *pipe* dengan *temperature* fluida yang keluar dari *shell* (°C)

$\Delta T_2$  = Selisih antara *temperature* fluida yang keluar dari *pipe* dengan *temperature* fluida yang masuk ke dalam *shell* (°C)

$T_{h,in}$  = *Temperature* fluida yang panas masuk dalam *pipe* (°C)

$T_{h,out}$  = *Temperature* fluida panas yang keluar dari *pipe* (°C)

$T_{c,in}$  = *Temperature* fluida dingin yang masuk ke dalam *shell* (°C)

$T_{c,out}$  = *Temperature* fluida dingin yang keluar dari *shell* (°C)

Nilai F bergantung pada geometri dari *heat exchanger* dan *temperature* udara yang masuk dan keluar dari aliran fluida panas dan dingin. Nilai F adalah kurang dari 1 untuk *cross-flow* dan *multipass shell-and-tube*, di mana nilai F dapat diketahui dengan mencari perbandingan nilai dua *temperature* P dan R, dan pada gambar 2.11.

$$P = \frac{t_1 - t_2}{T_1 - t_1} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (2.5)$$

Keterangan:

P = Perbandingan nilai dua temperatur

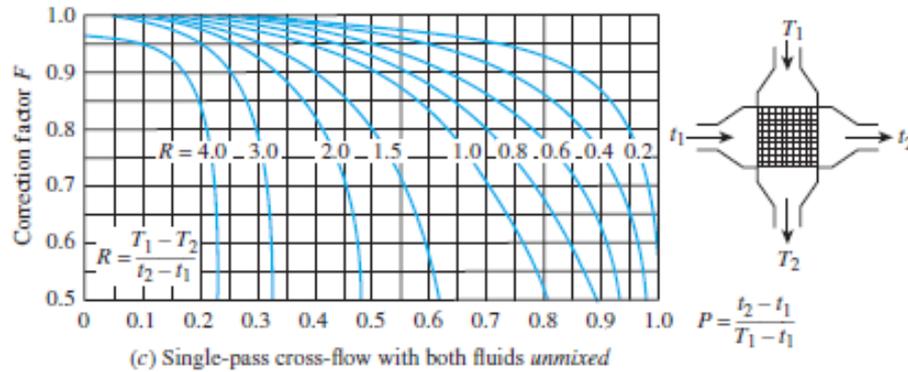
R = Perbandingan nilai dua temperatur

$T_1$  = *Temperature* fluida panas yang masuk ke dalam *pipe* (°C)

$T_2 =$  Temperature fluida panas yang ke luar dari *pipe* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_1 =$  Temperature fluida dingin yang masuk ke dalam *shell* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_2 =$  Temperature fluida dingin yang ke luar dari *shell* ( $^{\circ}\text{C}$ )



Gambar 2. 11 *Correction factor*

Sumber: Cengel & Ghajar (2015, p. 666)

### 2.3.3. Heat Transfer Effectiveness

Menurut Yunus dan Afshin (2015), persamaan *heat transfer effectiveness* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (2.6)$$

$$\dot{Q} = C_c * (T_{c,out} - T_{c,in}) = C_h * (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2.7)$$

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} * (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2.8)$$

$$C_c = \dot{m}_c * C_{pc} \quad (2.9)$$

$$C_h = \dot{m}_h * C_{ph} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$\epsilon =$  Heat transfer effectiveness (%)

$\dot{Q} =$  The actual heat transfer rate (J/s)

$\dot{Q}_{max} =$  Maximum possible heat transfer rate (J/s)

$C_c =$  Heat capacity rate dari fluida dingin (J/s $^{\circ}\text{C}$ )

$C_h =$  Heat capacity rate dari fluida panas (J/s $^{\circ}\text{C}$ )

$\dot{m}_c$  = Laju aliran massa fluida dingin (Kg/s)

$\dot{m}_h$  = Laju aliran massa fluida panas (Kg/s)

$C_{pc}$  = *Specific heat transfer capacity* fluida dingin (J/kg°C)

$C_{ph}$  = *Specific heat transfer capacity* fluida dingin (J/kg°C)

$C_{min}$  = Nilai terkecil dari antara nilai  $C_c$  dan  $C_h$  (J/s.°C)

#### 2.3.4. The Overall Heat Transfer Coefficient

Sebuah *heat exchanger* terdiri dari dua fluida mengalir yang dipisahkan oleh dinding. Panas berpindah dari fluida panas ke dinding dengan proses konveksi, lalu panas berpindah di dalam dinding dengan proses konduksi dan dari dinding panas berpindah ke fluida dingin dengan proses konveksi. Setiap proses radiasi biasanya termasuk di dalam *convection heat transfer coefficient*. Di dalam analisa *heat exchanger*, dapat dengan mudah untuk mengkombinasikan semua hambatan *thermal* dalam *hot flow* dari fluida panas ke fluida dingin menjadi satu hambatan *thermal*  $R$ , ketika pipa diberi *fin* untuk meningkatkan nilai *heat transfer*, dan *temperature* masuk serta keluaranya fluida panas maupun dingin diketahui, maka persamaan *heat transfer rate* dapat dinyatakan dengan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = U \times A_s \times \Delta T_{lm} \quad (2.11)$$

$$A_s = A_{fin} + A_{unfin} \quad (2.12)$$

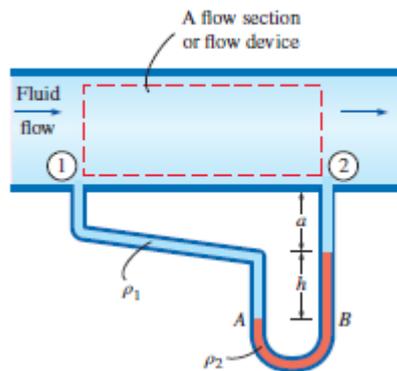
Keterangan:

$U$  = *Overall Heat Transfer Coefficient* (W/m<sup>2</sup>K)

$A_s$  = *Heat transfer surface area* (m<sup>2</sup>)

#### 2.4 Manometer

Manometer secara khusus cocok untuk mengukur *pressure drop* yang melintasi aliran horizontal antara dua titik yang telah ditentukan karena ada perangkat seperti *valve*, *heat exchanger*, hambatan lainnya. Hal ini dilakukan dengan cara menghubungkan dua kaki manometer dengan dua titik seperti pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Skema pengukuran *pressure drop* dengan manometer

Sumber: Cengel & Cimbala (89, p. 666)

Fluida yang mengalir dalam larutan bisa dalam bentuk gas maupun cair dengan massa jenis  $\rho_1$ . Massa jenis dari manometer dilambangkan dengan  $\rho_2$ , dan perbedaan ketinggian manometer adalah  $h$ . Dua fluida tidak dapat menyatu, dan  $\rho_2$  harus lebih besar dari  $\rho_1$ .

Hubungan untuk perbedaan tekanan  $P_1 - P_2$  didapatkan dengan memulai dari titik 1 dengan  $P_1$ , bergerak sepanjang pipa dengan menambahkan atau mengurangi ketentuan  $\rho gh$  sampai mencapai titik 2 dan mengatur hasilnya sama dengan  $P_2$ :

$$P_A = P_B \quad (2.13)$$

$$P_1 + \rho_1 \times g \times (a + h) = P_2 + \rho_2 \times g \times h + \rho_1 \times g \times a \quad (2.14)$$

$$P_1 - P_2 = \rho_2 \times g \times h + \rho_1 \times g \times a - \rho_1 \times g \times (a + h) \quad (2.15)$$

Keterangan:

$P_1$  = Tekanan yang masuk ke dalam manometer (Pa)

$P_2$  = Tekanan yang keluar dari manometer (Pa)

$\rho_1$  = Massa jenis fluida 1 ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\rho_2$  = Massa jenis fluida 2 ( $\text{Kg/m}^3$ )

$a$  = Ketinggian Fluida (gas atau cair) (m)

$h$  = Ketinggi Fluida 2 (m)

$g$  = gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

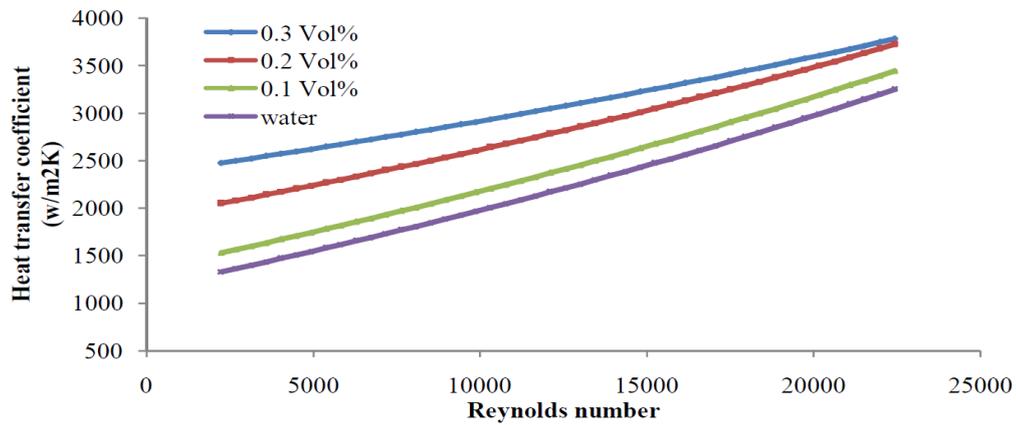
## 2.5 Literature Journal

### 2.5.1. Comparison of the cooling effects of a locally formulated car radiator coolant with water and a commercial coolant

Efeovbokhan, Enontiemonria, Ohiozua dan Nathaniel (2013) menguji karakteristik titik didih dan *specific heat capacity* dari *formulated coolant (sample C)*, *commercial coolant (sample B)*, dan air (*sample A*). *Formulated coolant* ini adalah campuran antara *ethylene glycol* dan air dengan perbandingan 50/50, 1% inhibitor korosi dan pewarna (hijau). Hasil investigasi menyatakan bahwa *formulated coolant (sample C)* memberikan performa terbaik dibandingkan *commercial coolant (sample B)* dan air (*sample A*). Pengujian menunjukkan bahwa *sample C* memiliki titik didih 110<sup>0</sup>C, *sample A* adalah 100<sup>0</sup>C, dan untuk *sample B* adalah 101 <sup>0</sup>C sedangkan *specific heat transfer* untuk *sample C* adalah 4238 Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, *sample A* adalah 4266 Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> dan untuk *sample B* 4208 Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>.

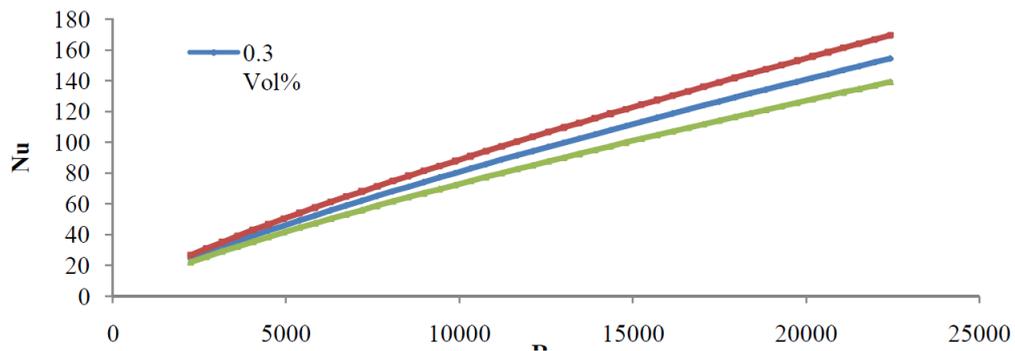
### 2.5.2. Analysis of Heat Transfer Coefficient of CuO/Water Nanofluid using Double Pipe Heat Exchanger

Senthilraja dan Vijayakumar (2013), menyatakan bahwa penggunaan CuO/air dengan diameter 27 nm pada volume konsentrasi yang berbeda (0,1% dan 0,3%) pada suhu ruangan menghasilkan peningkatan *convective heat transfer coefficient* dan peningkatan *Nusslet number* dengan meningkatkan kecepatan aliran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *double pipe heat exchanger*, dan *nanofluid* disiapkan dengan cara mendispersikan CuO *nanoparticle* di dalam air deionisasi. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Perbandingan *heat transfer coefficient* antara air dan konsentrasi *volume CuO/air nanofluid* yang berbeda

Sumber: Senthilraja & Vijayakumar (2013, p.678)



Gambar 2.14 Perbandingan *Nusselt Number* dan *Reynolds Number* untuk konsentrasi *volume CuO/air nanofluid* yang berbeda

Sumber: Senthilraja & Vijayakumar (2013, p.678)

Pada Gambar 2.13, menunjukkan hasil yang jelas bahwa dengan meningkatnya *Reynolds Number* dapat menyebabkan peningkatan pada *convective heat transfer coefficient* dan juga *heat transfer coefficient* pada *CuO/Water Nanofluid* lebih tinggi dibanding dengan air. Nilai tertinggi dari *heat transfer coefficient* didapat dengan menggunakan *nanofluid Cu/O 0.3 % (vol)*. Pada Gambar 2.14, menampilkan hasil bahwa *Nusselt Number* mengalami peningkatan dengan meningkatnya *Reynolds Number*.

### 2.5.3. Experimental Investigation of Heat transfer rate of Nanofluids using a Shell and Tube Heat exchanger

Eswara Rao, Sreeramulu, dan Naidu (2016) melakukan investigasi pada *heat transfer rate* dari *alumina nanoparticles* menggunakan *shell and tube heat exchanger* dengan *parallel flow condition* serta *counter flow condition*. Pengujian ini dilakukan dengan menjaga agar temperatur masuk dan laju aliran massa konstan. Proses pencampuran *alumina nanoparticles* dengan air menggunakan *ultrasonicator*, dan *alumina nanoparticles* disiapkan dengan menggunakan metode Sol-Gel. Hasil dari investigasi menyatakan bahwa pencampuran *alumina nanoparticles* dengan air di mana diameter *alumina nanoparticles* adalah 22 nm, dan konsentrasi volume yang digunakan adalah (0.13%, 0.27%, 0.4%, dan 0.53%) menghasilkan *heat transfer rate* lebih baik dibanding dengan fluida konvensional atau fluida tanpa *alumina nanoparticles*. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.15.

	Parallel Flow condition			Counter Flow condition		
	<i>LMTD</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>	<i>LMTD</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>
Water	53.46	162.25	2506.8	52.5	247.83	3760.2
0.13%	50.83	296.79	4359.89	49.99	422.49	6103.8537
0.27%	48.11	323.62	4499.607	47.484	468.42	6428.01
0.4%	44.89	438.173	5583.08	41.48	677.43	8120.85
0.53%	38.43	520.215	5777.65	37.44	800.96	8666.47

Gambar 2.15 Hasil penelitian untuk fluida dasar dan *nanofluid*

Sumber: Eswara Rao, Sreeramulu, & Naidu (2016, p.6)

Pada Gambar 2.15, dapat dilihat bahwa naiknya *volume* konsentrasi secara otomatis menyebabkan nilai dari *heat transfer rate* ikut meningkat. Nilai *heat transfer rate* tertinggi ada pada volume konsentrasi 0,53% dengan nilai sebesar 8666,47 Watt.

### 2.5.4. Heat Transfer Performance and Transport Properties of ZnO–Ethylene Glycol and ZnO–Ethylene Glycol–Water Nanofluid Coolants

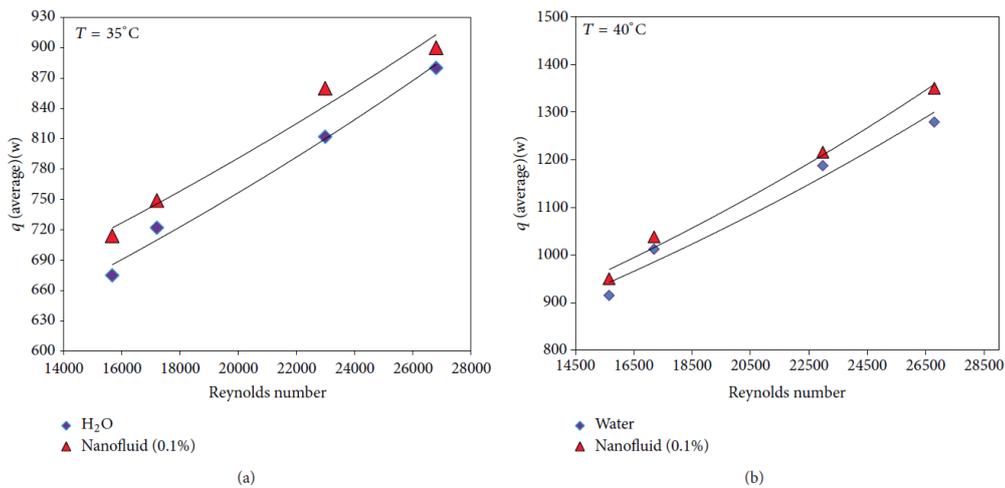
Suganthi, Vinodhan, dan Rajan (2014) menyatakan bahwa penggunaan dari *nanofluids* ZnO-EG di mana ukuran partikel dari ZnO adalah 25-40 nm dan dengan konsentrasi 4% dari *nanoparticles* ZnO menghasilkan peningkatan *thermal conductivity* sebesar 33,4% dan pengurangan *viscosity* sebesar 39,2% pada suhu

27°C, begitu pula penggunaan *nanoparticle* dengan ukuran 25-40 nm dan konsentrasi 2% ZnO-EG-*water nanofluids* menghasilkan peningkatan pada *thermal conductivity* sebesar 17,26% dan pengurangan *viscosity* 17,34% pada suhu 27 °C.

Konduktivitas termal nanofluida diukur menggunakan *transient-hot wire method* (Decagon devices, USA). Probe KS-1 telah digunakan dalam pengukuran. Temperatur sampel dipertahankan dengan menggunakan *a circulating water bath* (TC-502, Brookfield Engineering, USA). Viskositas nanofluida diukur dengan menggunakan rotational viscometer (LVDV-II + Pro, Brookfield Engineering, USA). Spindel S18 dan S64 digunakan untuk ZnO-EG pada suhu yang lebih tinggi (27–140 °C) dan suhu yang lebih rendah (10–20 °C). S00 spindle digunakan untuk menyelidiki ZnO-EG-air nanofluida pada seluruh rentang suhu yang diselidiki. Selama pengukuran viskositas, temperatur nanofluida ZnO-EG dan nanofluida ZnO-EG-air dipertahankan menggunakan pengontrol suhu (Thermosel, Brookfield Engineering, USA) dan rendaman suhu konstan (TC-502, Brookfield Engineering, USA). Distribusi ukuran partikel hidrodinamik dispersi ZnO-EG diukur menggunakan teknik hamburan cahaya dinamis (NanoZS, instrumen Malvern, Inggris) sebagai fungsi dari waktu proses ultrasonic.

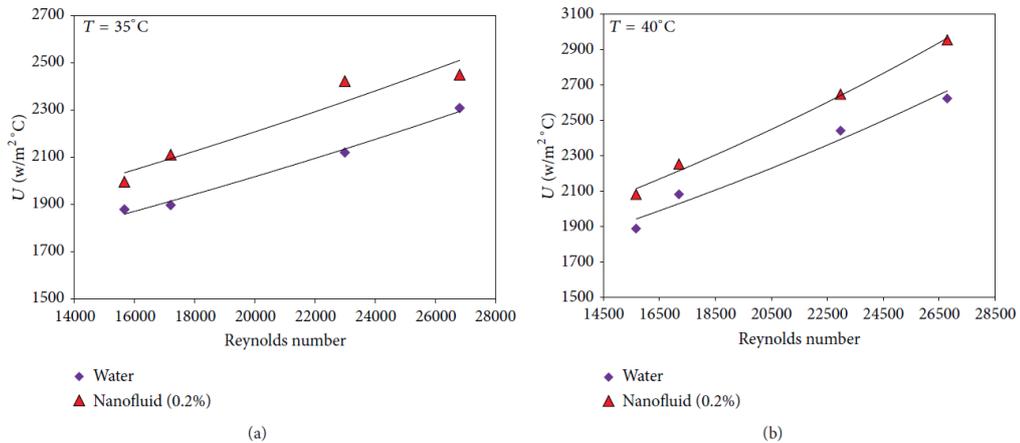
#### ***2.5.5. The Effect of Nanoparticles on Thermal Efficiency of Double Tube Heat Exchangers in Turbulent Flow***

Aghayari, Madah, Keyvani, Moghadassi, dan Ashori (2014), menyatakan bahwa penggunaan *nanoaluminium oxide* dengan ukuran partikel 20 nm dan ukuran partikel *volume fraction* antara 0,001-0,002 menunjukkan hasil peningkatan pada *heat transfer* dan *Overall Heat Transfer Coefficient of Nanofluids* sebesar 8%-10% di mana konsentrasi *nanoaluminium oxide* pada pengujian adalah 0,1% dan 0,2% pada suhu 35 °C dan 40 °C. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *countercurrent double tube heat exchanger* dengan aliran *turbulent*. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.16 dan Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Variasi dari rata-rata *heat flow rate* dengan *Reynold number* untuk NF 0,1% dan air pada (a)  $35^\circ\text{C}$  dan (b)  $40^\circ\text{C}$

Sumber: Aghayari, Madah, Keyvani, Moghadassi, & Ashori (2014, p.4)



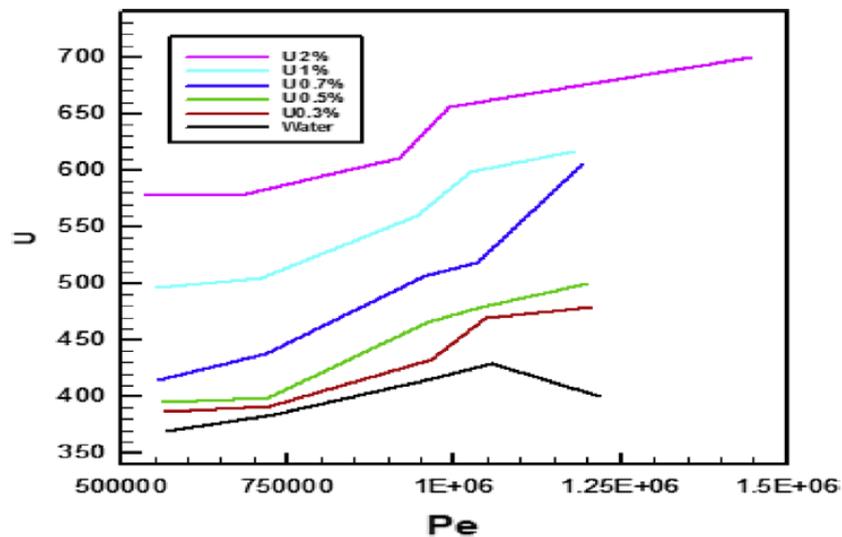
Gambar 2.17 Variasi dari *overall heat transfer coefficient* dengan *Reynolds number* untuk NF 0,2% dan air pada (a)  $35^\circ\text{C}$  dan (b)  $40^\circ\text{C}$

Sumber: Aghayari, Madah, Keyvani, Moghadassi, & Ashori (2014, p.5)

Pada Gambar 2.16 dan 2.17, dapat dilihat bahwa *Nanofluid* memiliki *overall heat transfer efficiency* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan air sebagai fluida dasar. Ketika konsentrasi *Nanoparticle* ditingkatkan, maka *overall heat transfer coefficient rate* meningkat lebih cepat.

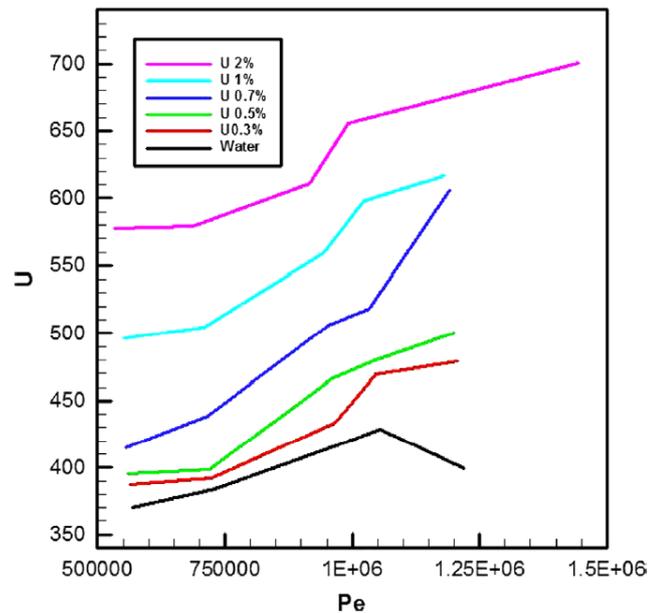
### 2.5.6. Heat Transfer Through Heat Exchanger Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid at Different Concentrations

Albadr, Tayal, dan Alasadi (2013), menyatakan bahwa penggunaan dari nanopowder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dicampur dengan air menjadi nanofluid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan konsentrasi nanopowder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berbeda yaitu 0,3% - 2%, serta diameter butir dari nanopowder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu ± 30 nm didapat hasil bahwa nilai convective heat transfer coefficient meningkat dibanding dengan air pada mass flow rate dan temperatur inlet yang sama. Pengujian dilakukan dengan menggunakan horizontal shell and tube heat exchanger counter flow dengan aliran turbulent. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.18 dan 2.19.



Gambar 2.18 Perbandingan antara overall heat transfer coefficient (U) dan mass flow rate ( $\dot{m}$ )

Sumber: Albadr, Tayal, & Alasadi (2013, p.43)



Gambar 2. 19 Perbandingan antara *overall heat transfer coefficient (U)* dan *Peclet Number (Pe)*

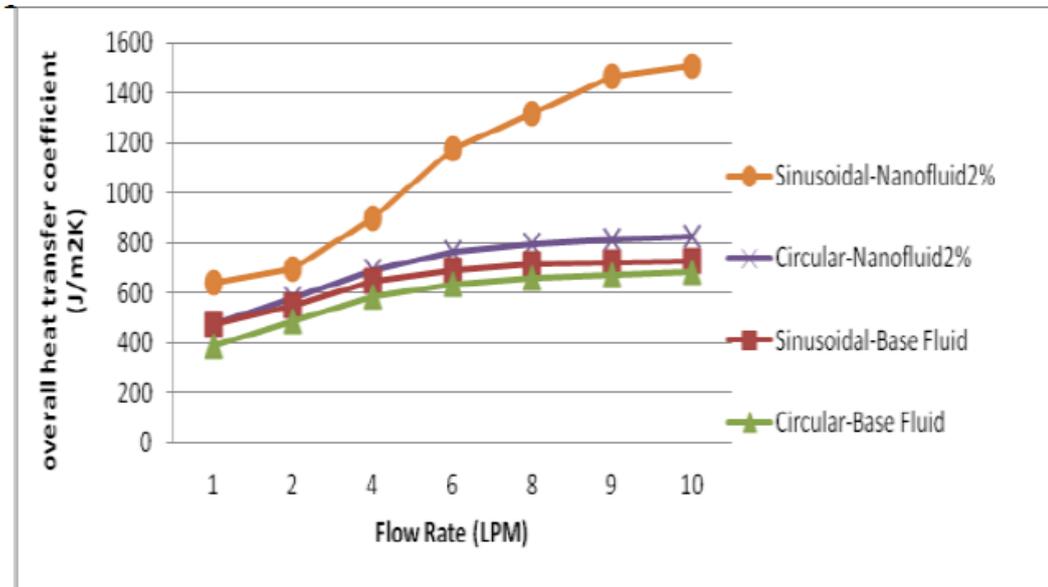
Sumber: Albadr, Tayal, & Alasadi (2013, p.43)

Gambar 2.18 dan 2.19, memperlihatkan peningkatan dari *overall heat transfer coefficient* dengan suatu laju aliran massa dan *Peclet Number*, di mana semakin tinggi laju aliran massa dan *volume* konsentrasi *nanoparticle* menyebabkan *heat transfer rate* semakin meningkat. Pada *volume* konsentrasi partikel 2% penggunaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /air *nanofluid* memberikan peningkatan signifikan lebih tinggi pada karakteristik *heat transfer*. Contohnya adalah pada volume konsentrasi 2%, *overall heat transfer coefficient* adalah  $700,242 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan pada air sebesar  $399,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  untuk laju aliran massa  $0,0125 \text{ L/s}$ . Perbandingan peningkatan *overall heat transfer coefficient* sebesar 1,754, berarti *nanofluids* lebih baik 57% dibanding dengan *distilled water* pada *overall heat transfer coefficient*.

### 2.5.7. Effect of Nano Particles on Heat Transfer in Heat Exchangers

Mahrooghi dan Moghiman (2015), menyatakan bahwa *nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /water dapat meningkatkan *overall heat transfer coefficient rates* di mana peningkatan ini berbanding lurus dengan volume konsentrasi dari *nanopowder*  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan nilai maksimum dari *overall heat transfer coefficient* yang dapat dicapai

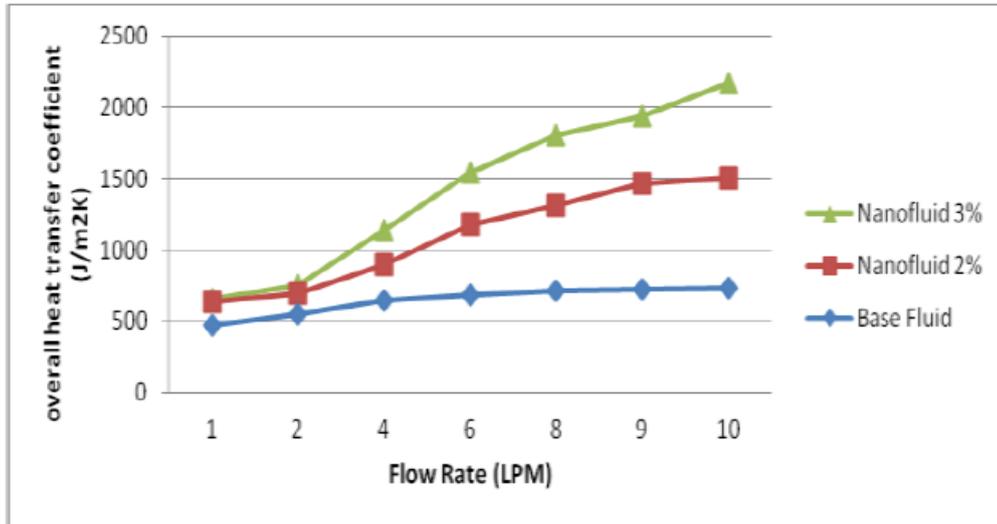
adalah 220% dengan volume konsentrasi 3% serta ukuran butir dari  $Al_2O_3$  adalah 20 nm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *isothermally concentric circular and sinusoidal double tube heat exchangers*. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.20 dan Gambar 2.21.



Gambar 2.20 Perebandingan peningkatan *overall heat transfer coefficient nanofluid* dan *pure water* terhadap laju aliran di dalam *circular* dan *sinusoidal double tube heat exchanger*

Sumber: Mahrooghi & Moghiman (2015, p.205)

Gambar 2.20, menunjukkan bahwa pada nilai laju aliran 10 LPM, kenaikan *overall heat transfer coefficient* dengan konsentrasi 2% *nanofluida* di dalam *circular double tube heat exchanger* sekitar 21%, sementara pada sinusoidal, *overall heat transfer coefficient* bisa mencapai sekitar 220%.



Gambar 2.21 Efek dari *volume* konsentrasi nanopartikel pada perbandingan nilai *overall heat transfer coefficient* dalam *sinusoidal heat exchanger*

Sumber: Mahrooghi & Moghiman (2015, p.205)

Pada gambar 2.21, menunjukkan bahwa di dalam *sinusoidal double tube heat exchanger*, kenaikan *overall heat transfer coefficient* hampir tiga kali dan empat kali lipat dibanding dengan *pure water* dengan cara meningkatkan nilai konsentrasi nanopartikel menjadi 2% dan 3%.