

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Observasi terhadap *oil cooler*, sistem kerja *oil cooler*, perancangan pada sepeda motor bebek dan mencari referensi dari beberapa sumber yang berkaitan dengan judul yang di ambil. Berikut referensi yang berkaitan dengan judul penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian yang berbentuk proyek akhir yang ditulis oleh Sandy Yogi Saputro yang berjudul "Perancangan *Oil Cooler* Pada Mesin Honda GL MAX tahun 2016". Penelitian ini membahas tentang sistem kerja *Oil Cooler* dan perancangan pada mesin Honda GL MAX.
2. Penelitian yang berbentuk proyek akhir yang ditulis oleh Setefanus Agista Bagus Saputra yang berjudul "Pengaruh Pengaplikasian *Oil Cooler* Terhadap Suhu Oli Dan Peforma Mesin Kendaraan Sepeda Motor Mega Pro Tahun 2011". Penelitian ini membahas tentang pengaruh pemasangan *oil cooler* terhadap suhu oli dan peforma mesin Mega Pro tahun 2011.

Dari hasil observasi diatas perancangan *oil cooler* pada sepeda motor tipe bebek belum ada, maka penulis akhirnya melakukan penilitian perihal "Perancangan sistem *Oil Cooler* Pada Motor Honda Supra X 100"

2.2 Dasar Teori

2.3 Fungsi Pendingin Mesin

Sistem pendingin pada sepeda motor berfungsi untuk menurunkan temperatur panas pada mesin yang terjadi dari proses pembakaran. Mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar, dalam melakukan proses pembakaran untuk menghasilkan energi dan dengan meknisme mesin diubah menjadi tenaga gerak. Mesin dengan efisiensi tinggi memiliki kemampuan untuk konversi panas hasil pembakaran menjadi energi yang dirubah menjadi gerakan mekanis, dengan hanya sebagian kecil panas yang terbuang dengan

mempertimbangkan faktor ekonomis, daya tahan, keselamatan serta ramah lingkungan. (Pribadi, 2017)

Proses pembakaran yang berlangsung terus menerus dalam mesin akan mengakibatkan mesin dalam kondisi temperatur yang sangat tinggi. Hasil pembakaran pada motor bakar yang menjadi tenaga mekanis hanya 23%, sebagian panas keluar menjadi gas bekas dan sebagian lagi hilang melalui proses pendinginan. Energi ini hilang karena adanya gesekan dan memanaskan minyak pelumas sebesar 7% dan sisanya sekitar 33% hilang diserap oleh pendinginan. Pendingin dibutuhkan untuk mempertahankan mesin supaya tetap dapat bekerja dan tahan lama. (Hidayat, 2015)

Sistem pendingin (*cooling system*) adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *overheating* pada mesin agar tetap bekerja secara optimal. Hasil pembakaran pada motor bakar yang menjadi tenaga mekanis hanya sekitar 23%, sebagian panas keluar menjadi gas bekas dan sebagian lagi hilang melalui proses pendinginan. (Akhmadi, 2016)

Secara umum sistem pendingin berfungsi sebagai berikut:

1. Mencegah terbakarnya lapisan pelumas pada dinding silinder.
2. Meningkatkan efisiensi/daya guna thermis.
3. Mereduksi tegangan – tegangan thermis pada bagian – bagian silinder, torak, cincin torak, dan katup – katup. (Jama, dkk, 2008)

Sehingga tanpa aplikasi sistem pendingin mesin akan mengalami *overheat* atau panas yang berlebihan pada mesin yang berdampak:

1. kerja dari mesin tersebut menurun.
2. Pembakaran tidak normal dan cenderung terjadi *knocking*.
3. Piston macet (karena perubahan kekuatan material pada piston).
4. Pelumasan akan jadi cepat rusak dan berubah dari sifatnya.

2.4 Macam – Macam Sistem Pendingin

Macam-macam sistem pendingin pada sepeda motor adalah :

a. Sistem Pendingin Air Fin (sirip – sirip)

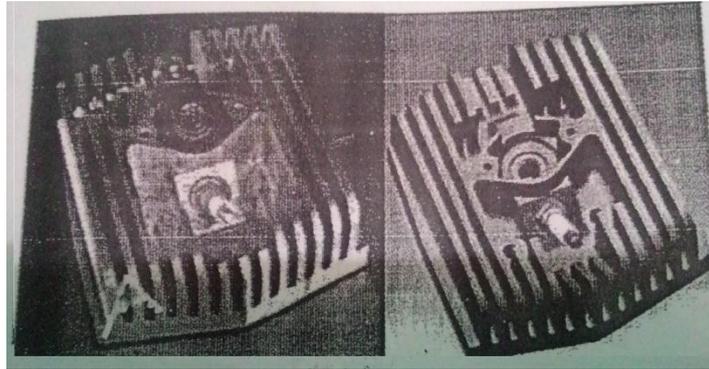
Pada mesin berkompresi rendah, biasanya pendinginan dilakukan oleh oli mesin dan sirip udara (*air fin*). Dalam sistem pendingin udara,

sekeliling silinder dan kepala silinder diberi sirip – sirip pendingin guna memperbesar luas permukaan yang bersinggungan dengan udara pendingin yang dialirkan ke sekelilingnya. Panas yang timbul dari hasil pembakaran akan diambil oleh udara pendingin yang mengalir melalui sirip – sirip tersebut. (Jama, dkk, 2008)

Cara kerja system air fin ini adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian dirambatkan keluar dengan menggunakan sirip – sirip pendingin yang dipasangkan di bagian luar dari silinder dan ruang bakar. Panas yang dihasilkan ini selanjutnya diserap oleh udara luar yang memiliki temperatur yang jauh lebih rendah dari temperatur pada sirip pendingin. Pada bagian mesin yang memiliki temperatur tinggi memiliki sirip pendingin yang lebih panjang daripada sirip pendingin yang terdapat disekitar silinder yang temperaturnya lebih rendah.

Udara yang berfungsi sebagai menyerap panas dari sirip – sirip pendingin harus berbentuk aliran atau dengan kata lain harus mengalir, hal ini dimaksudkan agar temperatur udara sekitar sirip – sirip lebih rendah sehingga penyerapan panas tetap berlangsung secara baik. Untuk menciptakan keadaan ini maka aliran udara harus dibuat dengan cara motor tersebut dalam keadaan berjalan sehingga menciptakan gerakan relatif antara sirip – sirip dengan udara.

Sistem pendingin ini banyak digunakan pada motor – motor keluaran lama, seperti Honda Astrea, Honda Supra, Yamaha Vega R. Selain motor – motor keluaran lama, sistem pendingin ini digunakan motor – motor keluaran terbaru sebagai sistem pendingin mesin, seperti Yamaha Jupiter Z1, Honda Supra X 125 FI.



Gambar 2.1. gambar mesin dengan pendingin sirip – sirip udara (*air fin*). (Jama, dkk, 2008)

Sistem pendingin udara ada dua macam yaitu:

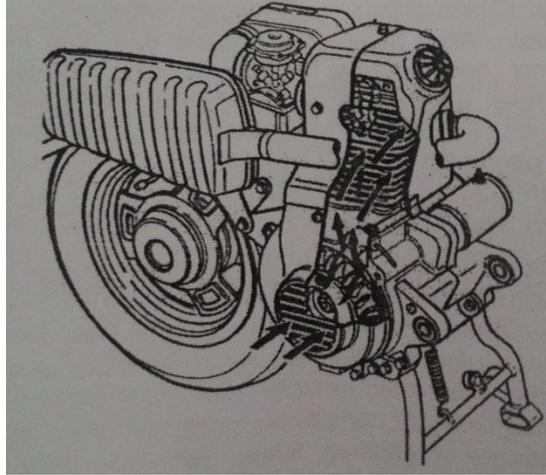
1. Sistem pendingin udara alami

Merupakan sistem pendingin dengan menggunakan aliran udara yang berhembus melewati mesin sewaktu sepeda motor berjalan. Sirip-sirip pendingin di blok silinder dan kepala silinder berfungsi untuk memperluas bidang pendinginan. Sistem pendingin ini bekerja pada saat sepeda motor melaju atau berjalan, di mana udara akan mengenai sirip – sirip tersebut dan panas mesin dapat dibuang ke udara melalui sirip – sirip mesin tersebut. Jumlah sirip – sirip tersebut sudah dirancang khusus oleh para produsen kendaraan agar didapat pendinginan yang sesuai untuk mencapai suhu kerja mesin yang diinginkan. Bila sirip – sirip itu patah, maka akan sangat mempengaruhi dari suhu mesin tersebut.

2. Sistem pendingin udara tekan

Untuk mesin – mesin yang secara konstruksi diam atau stasioner dan mesin – mesin yang penempatannya sukar untuk mendapatkan suplai aliran udara, maka udara yang dibutuhkan dengan cara dihembuskan oleh satu alat tambahan yaitu kipas blower yang dihubungkan langsung dengan poros engkol. Putaran kipas dari hasil putaran poros engkol dapat menciptakan aliran angin yang sesuai dengan kecepatan mesin, sehingga pendinginan sempurna dapat terjadi pada

mesin tersebut. Sistem ini tetap bisa digunakan walaupun sepeda motor dalam keadaan berhenti.

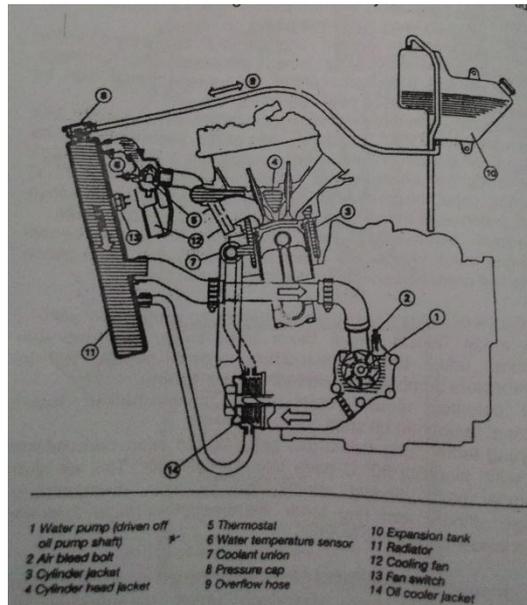


Gambar 2.2. sistem pendingin udara tekan (Jama, dkk, 2008)

- 1) Keuntungan dari sistem pendingin ini adalah:
 - a. Konstruksi sederhana.
 - b. Harga lebih murah.
 - c. Motor ringan.
 - d. Mudah perawatannya
 - 2) Kerugian dari sistem ini adalah:
 - a. Pendinginan tidak merata.
 - b. Suara motor keras karena getaran sirip – sirip.
- (Sudjarwo,2013)

b. Sistem Pendingin Radiator

Untuk mesin dengan kompresi yang lebih tinggi (diatas 150 CC), penggunaan sistem pendingin *air fin* dan *oil coller* sudah tidak memadai untuk mendinginkan mesin, maka pabrikan sepeda motor meningkatkan kembali pada sistem pendinginnya, yaitu dengan menggunakan sistem pendingin Radiator (water/liquid cooler). Ada beberapa motor yang menggunakan sistem pendingin radiator, antara lain: Yamaha Vixion, Honda CBR 150, Kawasaki Ninja, dll.



Gambar 2.3 sistem pendingin cairan pada mesin 4 langkah. (Jama, dkk, 2008)

Cara kerja sistem pendingin radiator adalah air panas yang berasal dari hasil pembakaran gas di dalam ruang bakar dan silinder sebagian diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi melalui dinding silinder dan ruang bakar. Hal ini dapat terjadi karena adanya mantel pendingin (water jacket). Panas yang diserap oleh air pendingin pada mantel – mantel air selanjutnya akan menaikkan temperatur air pendingin tersebut. Air pendingin pada water jacket cenderung akan mendidih dan menguap. Hal tersebut sangat merugikan, oleh karena itu untuk menghindarinya air tersebut disirkulasikan. Air yang memiliki temperatur yang masih dingin dialirkan untuk mengganti air yang memiliki temperatur yang lebih panas. (Pribadi, 2017)

Prinsip kerja dari radiator tersebut memakai prinsip konveksi, konduksi lalu konveksi dan radiasi. Pertama-tama, cairan akan dipompakan memasuki silinder block lalu naik ke atas silinder head untuk mengambil atau menyerap panas mesin akibat pembakaran. Lalu keluar melalui selang radiator menuju termostat sebagai pengatur debit aliran, lalu melewati termosensor untuk dibaca panas nya, kemudian masuk ke radiator dari sisi atas, kemudian mengalir ke pipa - pipa kapiler kecil sampai ke bawah. Panas mesin ini berpindah ke cairan melalui proses

konveksi, lalu merambat ke dinding pipa - pipa kecil radiator dan terjadilah perambatan konduksi ke seluruh kisi - kisi. Lalu dari kisi-kisi akan menyalurkan panas ke udara sekitar, bahkan saat suhu panas, udara akan dipaksa oleh kipas untuk bertumbukan atau bersinggungan dengan kisi-kisi radiator.

Dalam sirkulasinya, sistem pendingin ini dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Sirkulasi alami (natural circulation)

Sistem pendingin jenis ini terjadi diakibatkan oleh perbedaan berat jenis air panas dengan yang masih dingin. Pada saat air di dalam tangki dipanaskan, maka air yang telah panas tadi 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.

Air panas akan didesak keatas oleh air yang masih dingin dari radiator sehingga akan mengalir kebagian atas radiator yang selanjutnya akan turun panasnya karena telah mengalami proses pendinginan di radiator.

b. Sirkulasi dengan tekanan

Sirkulasi jenis ini hampir sama dengan sirkulasi jenis alami hanya ditambahkan pompa air untuk mempercepat terjadinya sirkulasi air pendingin. Pompa air ini ada yang ditempatkan pada saluran antara radiator dengan mesin dimana air yang mengalir ke mesin ditekan oleh pompa, dan ada juga yang ditempatkan pada saluran antara mesin dengan radiator. Sirkulasi jenis ini dapat berlangsung dengan sempurna dan air yang berada di dalam mantel – mantel tetap dalam keadaan penuh tanpa ada gelombang udara. Sirkulasi jenis ini untuk membuat air mendidih sangatlah kecil di karenakan tekanannya melebihi tekanan atmosfer yang berarti titik didihnya akan berada jauh diatas 100 °C.

Komponen – komponen yang digunakan pada system pendingin radiator yaitu :

- Radiator: Radiator berfungsi sebagai tempat menampung air sekaligus mendinginkan air yang berasal dan akan dialirkan ke mesin.
- *Water pump* : berfungsi untuk mensirkulasikan air ke dalam sistem pendingin.
- Tutup radiator: berfungsi mengatur tekanan dan suhu air pendingin di dalam radiator.
- *Water jacket*: adalah ruang dalam blok mesin dan silinder blok yang menampung dan menghantarkan panas mesin ke air pendingin.
- *Thermostat*: berfungsi untuk mengatur suhu kerja mesin dengan cara mengatur sirkulasi air pendingin.
- Selang : adalah komponen untuk mensirkulasikan air pendingin dari radiator ke blok mesin atau sebaliknya.

1) Keuntungan sistem pendingin ini adalah:

- a. Pendinginan dapat merata.
- b. Radiator dapat diperkecil, karena aliran lebih lancar.

2) Kerugian sistem ini adalah:

- a. Konstruksi rumit.
- b. Harga mahal.
- c. Sering terjadi kebocoran. (Sudjarwo,2013)

c. Sistem Pendingin *Oil Cooler*

Peningkatan rasio kompresi mengakibatkan mesin cepat panas, maka pabrikan sepeda motor meningkatkan pada sistem pendinginnya seperti penambahan sistem *oil cooler* untuk mendinginkan mesin dan menjaga kestabilan oli. Contoh motor yang sudah menggunakan sistem pendingin ini adalah Suzuki Satria FU, Pulsar 250.



Gambar 2.4 gambar mesin dengan pendingin *oil cooler*

Keuntungan sistem pendingin ini bisa menjangkau seluruh bagian mesin bahkan hingga menembus ke celah yang terkecil. Contohnya celah antara piston dengan dinding silinder. Sehingga piston juga ikut didinginkan

2.5 Sistem Pendingin Oli (*Oil Cooler System*)

Sistem pendingin oli (*oil cooler system*) adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menurunkan temperatur minyak pelumas yang terdapat di dalam *lower tank* radiator. Selama mesin bekerja, bagian mesin akan menjadi panas. Karena minyak pelumas lebih rendah temperaturnya disamping melumasi, juga berfungsi sebagai fluida pendingin, yang menyerap panas dari bagian mesin tadi. Hal itu menyebabkan temperatur minyak pelumas menjadi naik, karena sebelum masuk kembali ke dalam bak minyak pelumas (karter oli), minyak pelumas itu harus didinginkan terlebih dahulu sebelum dialirkan kembali ke seluruh bagian mesin. Selain itu kelebihan sistem pendingin ini bisa menjangkau seluruh bagian mesin. Bahkan menembus celah yang paling terkecil pada mesin. Sebagai contoh celah antara piston dengan dinding

silinder. Dalam sistem pendingin ini, piston pun ikut didinginkan. (Saputra, 2017)

Selain digunakan pada sepeda motor, *oil cooler* juga digunakan pada mesin diesel. Di mesin diesel sendiri *oil cooler* berguna untuk menjaga level temperatur oli *engine*. Temperatur oli *engine* tidak boleh melebihi 120°C. Sehubungan dengan adanya friksi dan beban panas yang terjadi pada oli di dalam *high performance engine*, *heavy duty diesel engine*, oli temperatur akan naik sehingga perlu didinginkan secara terus menerus agar temperatur oli sesuai dengan temperatur kerja oli. (Irfan, 2007)

Engine oil cooler terdiri dari sebuah *metal housing* yang memiliki sekumpulan *tube* tembaga yang mana terpisah oleh susunan sekat (*buffle*). *Coolant engine* mengalir didalam *tube – tube* dan oli *engine* yang panas mengalir di sekitar bagian luar dari *tube*.

Oil cooler mengurangi temperatur maksimum dari oli *engine* dan juga mempercepat tercapainya temperatur kerja *engine* dengan cara mensirkulasi oli *engine* sampai mencapai kerja maksimum. (Yuwono, 2013)

2.6 Prinsip Kerja Oil Cooler

Prinsip kerja oil coller adalah oli mesin yang dialirkan oleh *oil pump* (pompa oli) disaring terlebih dahulu ke *oil filter* (filter oli). Kemudian akan dialirkan ke dalam *oil cooler* dan dinginkan dengan menggunakan udara yang berhembus saat motor sedang melaju di jalan raya, selanjutnya oli yang telah didinginkan ini dialirkan menuju kisi – kisi *oil cooler*, dari kisi – kisi *oil cooler* akan dialirkan ke seluruh komponen mesin bergerak, dan terakhir semua oli tersebut akan jatuh ke dalam bak oli.

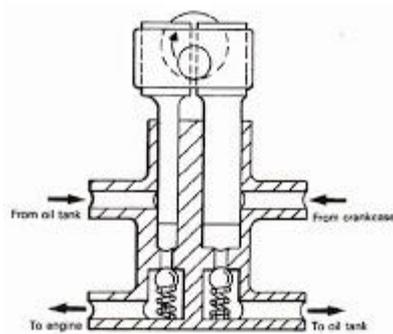
2.7 Oil Pump (Pompa Oli)

Oil pump dalam sistem pelumasan berfungsi untuk menghisap minyak pelumas dari bak oli dan menekan atau menyalurkan ke bagian – bagian mesin yang bergerak dengan tujuan agar bagian – bagian tersebut dapat terlumasi dengan oli. Pompa oli ada yang digerakan oleh poros engkol dan ada juga yang digerakan oleh poros nok, serta *timing belt* dan lain sebagainya. Filter oli terpasang pada inlet pompa oli yang berfungsi untuk menyaring

kotoran – kotoran yang ada pada oli. Pompa oli yang sering dan biasa digunakan pada mesin ada dua macam yaitu model roda gigi dan model trochoid. Berikut ini beberapa tipe pompa oli yang sering digunakan:

1. Pompa oli tipe *plunger*

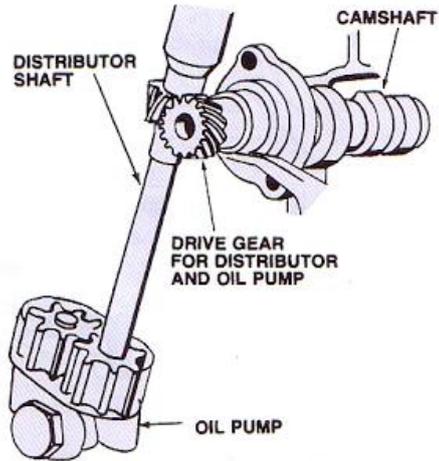
Pompa oli tipe *plunger* jenis pompa perpindahan positif dimana segel tekanan tinggi stasioner dan pendorong silinder mulus meluncur melalui segel. Hal ini membuat mereka berbeda dari pompa piston dan memungkinkan mereka untuk digunakan pada tekanan yang lebih tinggi. Tipe ini sering ditemukan pada mesin kuno dengan pelumasan sistem kering.



Gambar 2.5 pompa oli tipe *plunger* (Jama, dkk, 2008)

2. Pompa oli tipe *gear*

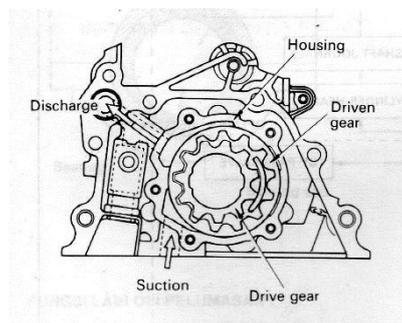
Pompa oli tipe *gear* berfungsi dengan cara berputarnya 2 gigi (*drive gear* dan *driven gear*) di dalam rumah pompa oli, oli ditarik dari bak oli melalui lubang *inlet* dan disalurkan keseluruh bagian mesin melalui lubang *outlet*



Gambar 2.6 pompa oli tipe *gear* (Jama, dkk, 2008)

Pompa oli tipe roda gigi dapat dibedakan menjadi dua yaitu pompa oli tipe *internal gear* dan pompa oli tipe *external gear*.

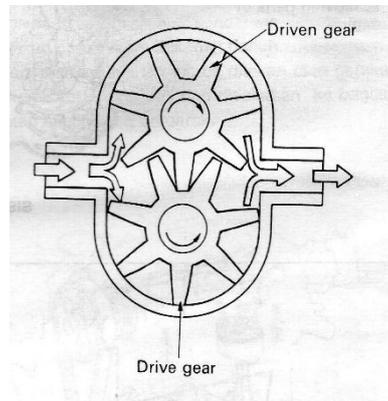
a. Tipe *internal gear*



Gambar 2.7 pompa oli roda gigi tipe *internal gear* (Jama, dkk, 2008)

Roda gigi yang digerakkan (*driven gear*) digerakkan oleh roda gigi penggerak yang dihubungkan langsung ke camshaft, ruang volume dibentuk oleh dua gigi yang berubah-ubah saat berputar. Tipe ini memiliki konstruksi yang sederhana dan kemampuannya dapat diandalkan.

b. Tipe *external gear*

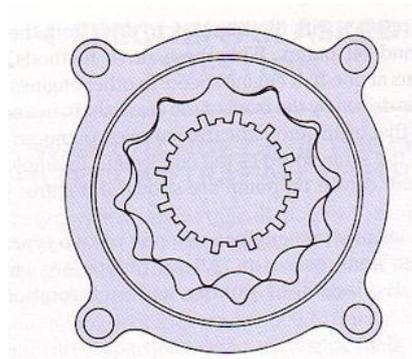


Gambar 2.8 pompa oli roda gigi tipe *external gear* (Jama, dkk, 2008)

Sama halnya seperti model *internal* ada *drive gear* dan *driven gear* untuk memompa oli seperti terlihat pada gambar disamping. Aliran oli juga terlihat seperti gambar. Tipe ini sudah lama digunakan karena konstruksinya lebih sederhana dan lebih akurat.

3. Pompa oli tipe *trochoid*

Pompa oli tipe *trochoid* didalamnya terdapat dua motor berputar pada kecepatan berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan volume diantara dua rotor tersebut, karena adanya perbedaan volume tadi menyebabkan oli mengalir keluar dan ke dalam.



Gambar 2.9 pompa oli tipe *trochoid* (rotor) (Jama, dkk, 2008)

Trochoid pump bentuknya sederhana dibandingkan dengan pompa model gigi dan lebih dapat diandalkan. Selain itu juga, volume oli yang

keluar lebih besar dan banyak unuk setiap kali berputar. Ini berarti ukuran atau bentuk pompa dapat lebih diperkecil lagi.

2.8 Komponen – Komponen *Oil Cooler*

Komponen dalam sistem *Oil cooler* di antaranya adalah :

1. *Cooler*

Fungsinya untuk menurunkan temperatur oli. Di dinginkan dengan menggunakan udara yang berhembus saat motor sedang melaju di jalan raya.



Gambar 2.10 *cooler*

2. Baut Nepel

Berfungsi sebagai pengikat (*fastner*) untuk menahan dua objek bersama yaitu *cooler* dan selang.



Gambar 2.11 gambar baut nepel [www.otomotifnet.com]

3. Selang Oli

Berfungsi sebagai alur jalannya oli dari bak oli menuju *cooler* dan dari *cooler* ke *cylinder head*.



Gambar 2.12 selang oli

2.9 Pengelasan

1. Definisi pengelasan

Pengelasan adalah cara menyambung logam dengan cara mencairkan logam di daerah yang akan disambung. Pada umumnya dilakukan dengan cara menambah logam pengisi (*filler metal*). Energi untuk mencairkan logam di dapat dari *flame* (nyala api) atau dari busur listrik (*electrical arc*). Pengelasan dapat dilakukan dengan:

1. Pemanasan tanpa tekanan

2. Pemansan dengan tekanan
3. Tekanan tanpa memberikan panas dari luar (panas diperoleh dari dalam material itu sendiri)
4. Disamping itu pengelasan dapat dilakukan
 - a. Tanpa logam pengisi
 - b. Dengan logam pengisi

2. Jenis – jenis proses pengelasan

1. Pengelasan lebur

Proses pengelasan lebur menggunakan panas untuk mencairkan logam induk. Beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan lebur dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Pengelasan busur (*arc welding aw*)
- Pengelasan resistansi listrik (*resistance welding, RW*)
- Pengelasan gas (*oxyfuel gas welding, OFW*)
- Proses pengelasan lebur yang lain; terdapat beberapa jenis pengelasan lebur yang lain, untuk menghasilkan peleburan logam yang disambung, seperti misalnya
 - Pengelasan berkas elektron (*electron beam welding*)
 - Pengelasan berkas laser (*laser beam welding*)

2. Pengelasan padat

Dalam pengelasan padat proses penyambungan logam dihasilkan dengan:

- Tekanan tanpa memberikan panas dari luar
- Tekanan dan memberikan panas dari luar

Bila digunakan panas, maka temperatur dalam proses dibawah titik lebur logam yang dilas, sehingga logam tersebut tidak mengalami peleburan dan tetap dalam keadaan padat. Dalam pengelasan ini tidak digunakan logam pengisi. Pengelasan padat dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Pengelasan difusi (*diffusion welding, DFW*)

- b. Pengelasan gesek (*friction welding, FW*)
- c. Pengelasan ultrasonik (*ultrasonic welding, UW*)

3. Penggunaan pengelasan

Proses pengelasan secara komersial banyak digunakan dalam operasi sebagai berikut:

- Konstruksi (misalnya, bangunan dan jembatan)
- Pemipaan, tabung bertekanan, boiler, dan tangki penyimpanan
- Bangunan kapal
- Pesawat terbang dan pesawat luar angkasa
- Automotif dan rel kereta

2.10. Perpindahan panas

1. Definisi perpindahan panas

Ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material atau benda karena adanya perbedaan temperatur (panas dan dingin). panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang temperaturnya lebih rendah. (Umrowati, 2011)
Mekanisme perpindahan panas ada 3 yaitu :

a. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan atau gas) karena perbedaan suhu diantara keduanya (benda – fluida). Konveksi sendiri dibagi menjadi 2 yaitu :

- Konveksi alami

Perpindahan panas konveksi alami adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya, contohnya yaitu plat panas yang dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

- Konveksi paksa

Konveksi paksa adalah perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar. Contohnya adalah plat panas dihembuskan udara dengan kipas atau blower.

Dasar hukum konveksi : hukum newton

$$q_{conv} = hA (T_s - T_{\infty})$$

Dengan :

q_{konv} : Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

H : Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

A : Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_{∞} : Temperatur permukaan (K)

T_s : Temperatur fluida (K)

b. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang temperaturnya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Konduksi dibagi menjadi 2 yaitu :

- *Konduksi steady state* adalah bentuk konduksi yang terjadi ketika perbedaan temperatur yang terjadi pada konduksi berlangsung spontan, maka setelah waktu kesetimbangan, distribusi spasial temperatur pada benda terkonduksi tidak berubah-ubah lagi. Pada konduksi *steady state*, jumlah panas yang memasuki suatu bagian sama dengan jumlah panas yang keluar.
- *Konduksi transient* muncul ketika temperatur objek berubah sebagai fungsi waktu. Analisis pada sistem transient lebih

kompleks dan sering dipakai untuk aplikasi dari analisis numerik oleh komputer.

Dasar hukum konduksi yaitu : hukum fourier

$$q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Dengan :

q_k : Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

K : Konduktivitas termal bahan (W/m. K)

A : Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

$\Delta T/\Delta x$: Gradien suhu (perubahan temperatur terhadap arah x) (K/m)

c. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dilepaskan oleh benda sebagai gelombang elektromagnetik, karena adanya tumpukan energi termal pada semua benda dengan temperatur di atas nol mutlak. Radiasi termal muncul sebagai akibat perpindahan acak dari atom dan molekul benda. Karena atom dan molekul ini terdiri dari partikel bermuatan (*proton* dan *elektron*), pergerakan mereka menghasilkan pelepasan radiasi elektromagnetik yang membawa energi. Radiasi dari matahari dapat digunakan untuk panas dan tenaga listrik. Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi termal dapat dikumpulkan di sebuah titik kecil menggunakan kaca pemantul, kemudian dimanfaatkan untuk pembangkit listrik solar.

Dasar hukum radiasi yaitu : hukum Stefan-Blotzman

$$p = \frac{Q}{T} = \epsilon \sigma A T^4$$

Dengan :

P : daya radiasi (W)

Q : Energi kalor (J)

A : Luas permukaan benda (m^2)

e : koefisien emisivitas
T : temperatur mutlak (K)