

KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PADA PEMISAHAN FRAKSI RINGAN MINYAK PELUMAS BEKAS

Tunjung Wahyu Widayati¹ dan Zubaidi Achmad²

Abstract

Lubricant oil has limited time in its using. After in that time, the oil has been not aplicated so it has to be substituted with the another one. By forward with transportation, there will be pollution in environment. For holding that problems, so the renewable processing for used lubricant oil is needed to be more economic product.

The process was done in the separating equipment that was being heated 200-250 °C with some process parameters. The parameters were 0.0163-0.0389 m/sec in flow rate, 170-230 °C in the feeding temperature, 0.11-0.07 m in diameter of separation equipment, 77.5 -95.5 °C in the difference temperature with in oil and equipment wall. The feed from feeding tank was flowed by pass heater and than its in to separation equipment. The product was distilat, were analyzed in fisis characterization i.e., specific gravity, viscosity, colour ASTM and flash point. The rafinat (bottom product), was heavy fraction, was put in to feeding tank. The rafinat was analyzed fisis characterization i.e., specific gravity, flash point, fire point, kinematic viscosity and viscosity index. The rafinat analyzing was done after the process was stopped.

The bottom product was lubricant oil with viscosity and viscosity index better than its feed. In this research, there was equipment of convection heat transfer coefficient:

$$h = 1606.8 \frac{k}{D} \left[\frac{\rho v D}{\mu} \right]^{0.4063} \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^{-0.4604} \left[\frac{B}{D} \right]^{-1.94} \left[\frac{\rho C_p H \Delta T}{D \mu^2 B} \right]^{-0.0153}$$

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Minyak pelumas bekas dari bengkel-bengkel, industri-industri dan sumber-sumber lainnya dapat menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Minyak pelumas bekas ini masih menjadi masalah yang belum terpecahkan sampai saat ini. Ada beberapa macam usaha untuk memecahkan masalah ini, diantaranya:

1. Membakar dengan teknik dan pengaturan yang baik sehingga tidak mengotori lingkungan.
2. Mengolah kembali minyak pelumas bekas menjadi minyak dasar pelumas dengan proses-proses yang sempurna dan dengan pengawasan mutu secara ketat.
3. Dimanfaatkan sebagai minyak bakar setelah diadakan pengolahan terlebih dahulu.

Yang melatarbelakangi diadakannya penelitian ini adalah bagaimana cara agar minyak pelumas bekas dapat diolah kembali menjadi bahan yang lebih bermanfaat. Pengolahan kembali dilakukan untuk memisahkan zat-zat pengotor yang terdapat dalam minyak pelumas bekas. Dalam penelitian ini dilakukan kemungkinan bagaimana cara memisahkan fraksi ringan minyak pelumas bekas secara sinambung dengan mencari koefisien perpindahan panas konveksi antara alat pemisah dengan minyak pelumas bekas.

Tujuan Penelitian

Mencari koefisien perpindahan panas secara konveksi antara dinding alat pemisah dengan minyak pelumas bekas

pada pemisahan fraksi ringan minyak elumas bekas dengan variable proses kecepatan alir, sifat fisis pelumas, diameter alat pemisah dan beda suhu antara alat pemisah dengan minyak pelumas bekas.

TINJAUAN PUSTAKA

Minyak pelumas terdapat dalam bagian minyak mentah yang mempunyai daerah didih paling tinggi, yaitu sekitar 400°C ke atas (Hardjono, 1987).

Minyak pelumas mempunyai tugas utama melumasi bagian-bagian yang berkontak dan bergerak satu terhadap yang lain, sehingga menghindarkan terjadinya keausan. Oleh karena itu minyak pelumas harus tahan terhadap tekanan lurus permukaan bidang atau tekanan normal, teteapi tidak boleh menghambat gerakan mesin. Untuk memenuhi tujuan tersebut minyak pelumas harus mempunyai kekentalan tertentu, sesuai dengan kerja mesin dan beban operasinya. Semakin berat kerja mesin, minyak pelumas yang dipakai harus semakin kental, demikian sebaliknya. Karena jenis mesin sangat bermacam ragam dan masing-masing bekerja dengan kondisi yang berbeda-beda, maka minyak pelumas juga bermacam-macam sehingga minyak pelumas merupakan salah satu produk minyak bumi yang paling banyak jenisnya (Hardjono, 1987).

Persyaratan utama yang harus dipenuhi sebagai pelumas adalah:

- Indeks viskositas yang cukup tinggi
- Daya dukung terhadap beban tinggi
- Stabil terhadap oksidasi
- Titik tuang yang rendah

Selain persyaratan diatas, perlu juga diketahui sifat-sifat dari pelumas tersebut. Sifat-sifat penting minyak pelumas adalah sifat alir dan kecocokannya sebagai pelumas untuk kondisi pemakaian yang berbeda-beda. Sifat alir minyak pelumas ditunjukkan oleh viskositas, indeks viskositas dan titik tuang. Sedang kecocokan untuk kondisi pemakaian yang berbeda-beda seperti suhu, beban, kecepatan dan adanya kontaminan (air, debu, oksigen, dan hasil pembakaran) ditunjukkan dengan uji ketahanan oksidasi, kemampuan membawa beban, sisa karbon, kadar abu, titik nyala dan sifat-sifat lain yang ditentukan dengan uji baku (Hardjono, 1987).

- *Detergent dispersant*: Mencegah penggumpalan kotoran-kotoran.
 - *Pour point depressant*: Memperbaiki fluiditas pada suhu rendah.
 - *Viscosity index improver*: Mencegah penurunan ketukan karena kenaikan suhu.
 - *Extreme pressure agent*: Menaikkan daya dukung beban.
 - *Alkali reserve*: Menetralkan asam yang terbentuk karena oksidasi.
 - *Demulsifying*: Menyebabkan pemisahan air dari minyak pelumas dengan cepat.
- (Hardjono, 1987)

Tabel 1. Sifat fisis minyak pelumas baru

Sifat fisis	Hasil
Specivic gravity 60/60	0.8910
Distilasi ASTM (°C)	
IBP	232
10%	346
50%	380
90%	397
EP	398
Viskositas kinematik	
100 °F	161.4
130 °F	71.2
210 °F	14.7
Flash point (°C)	246
Fire point (°C)	280

(analisa laboratorium)

Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi sehingga bermunculan mesin-mesin baru yang bekerja dengan kemampuan lebih tinggi maka diperlukan pelumas yang lebih baik. Untuk itu maka digunakan aditif-aditif minyak pelumas untuk memenuhi tuntutan tersebut. Aditif adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam minyak pelumas untuk memperbaiki unjuk kerja minyak pelumas. Aditif-aditif dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- *Anti-oxydant* : Untuk mencegah oksidasi dan asam-asam.minyak dan pembentukan lumpur.
- *Corrosion inhibitor*: Mencegah terbentuknya karat dan korosi bantalan.

Akan tetapi dengan adanya penambahan aditif-aditif tersebut menyebabkan terbentuknya sedimen yang berupa logam-logam pada minyak pelumas.

Minyak pelumas bekas adalah minyak pelumas yang telah mengalami degradasi, sehingga sifat-sifat fisisnya sudah berubah dan tidak lagi memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Minyak pelumas dalam pemakaiannya pada mesin-mesin akan mengalami perubahan-perubahan baik struktur maupun komposisinya. Perubahan itu bisa secara kimia atau fisika. Perubahan secara kimia antara lain : pengurangan karena panas dan oksidasi dari hidrokarbon-hidrokarbon. Perubahan secara fisika antara lain : penguapan dari minyak yang titik didihnya rendah, perubahan warna, dan terjadinya pengenceran juga terjadi kontaminasi lain berupa bertambahnya karbon dan bahan padat lainnya. Dengan terjadinya pengenceran maka fraksi antara bagian-bagian mesin mengakibatkan keausan. Butiran-butiran logam yang masuk tercampur dalam minyak pelumas, akan menambah jumlah bahan padat dan akan menaikkan jumlah kadar abu. Disamping itu pengenceran akan menurunkan viskositas minyak pelumas karena terpecahnya ikatan rantai karbon yang disebabkan temperatur yang tinggi dan gesekan yang terus menerus.

Selain dari aditif yang ditambahkan dan keausan mesin, kandungan logam-logam dalam minyak pelumas bekas juga berasal dari kontaminasi dengan bahan bakar yang mengandung logam timah hitam, garam-garam, debu atau kotoran-kotoran dari udara

Tabel 2 Sumber asal unsur logam dalam limbah minyak pelumas dari mesin diesel dan bensin menurut logamnya

No	Unsur logam	Simbol	Sumber asal
1	Aluminium	Ala	Piston, bantalan, debu atau kotoran dari udara
2	Antimon	Sb	Bantalan
3	Barium	Ba	Aditif, air pendingin
4	Boron	Bon	Aditif, zat pendingin
5	Cadmium	Cd	Bantalan
6	Calsium	Ca	Aditif, air pendingin
7	Chromium	Cr	Liner silinder, ring piston, poros engkol, zat pendingin
8	Cobalt	Co	Bantalan
9	Copper	Cu	Bantalan
10	Iron	Fe	Liner silinder, poros engkol, karat
11	Lead	Pb	Bantalan, bahan bakar
12	Magnesium	Mg	Aditif, bantalan
13	Molybdenum	Mo	Aditif, ring piston
14	Nikel	Ni	Poros, ring piston
15	Phospor	P	Aditif, zat pendingin
16	Potasium	K	Aditif, zat pendingin
17	Silikon	Si	Kotoran dari udara
18	Silver	Ag	Bantalan
19	Timah	Sn	Bantalan, zat pendingin
20	Sodium	Na	Aditif, zat pendingin

(Subiyanto, 1989)

Senyawa-senyawa logam anorganik yang terdapat dalam minyak pelumas bekas mudah dilarutkan oleh air, sedang senyawa-senyawa logam organik minyak pelumas bekas menunjukkan sifat aktif permukaan karena dalam molekul yang sama mengandung gugus hidrofob dan hidrofil. Pencucian dengan menggunakan air kurang dapat menurunkan kandungan senyawa-senyawa logam organik dalam minyak pelumas bekas. Penggunaan pelarut yang bersifat aktif permukaan akan dapat membantu menurunkan kandungan senyawa-senyawa logam organik dalam minyak pelumas bekas.⁴

Proses penurunan kandungan logam-logam dan asam-asam mineral kuat dalam minyak pelumas bekas pada prinsipnya adalah proses pencucian dengan menggunakan zat yang bersifat aktif permukaan. Zat dengan sifat aktif permukaan berfungsi sebagai zat pengemulsi yang akan menurunkan tegangan antar muka. Dengan turunnya tegangan antar muka antara minyak pelumas bekas dengan pelarut maka kotoran-kotoran dalam minyak pelumas bekas akan tertarik ke lapisan antar muka dan terselubungi oleh pelarut membentuk sistem emulsi. Sistem emulsi yang terbentuk dapat berjenis air dalam minyak atau minyak dalam air.

Salah satu proses yang dapat dipakai untuk mengolah minyak pelumas bekas adalah destilasi. Destilasi adalah proses pemisahan komponen-komponen dalam larutan cair dengan menggunakan panas sebagai *separating agent* yang berdasarkan beda titik didih dari masing-masing komponen dalam larutan.

Perpindahan massa (mass transfer) dapat terjadi karena beberapa macam fenomena yang berlainan. Ada perpindahan massa yang berlangsung dengan konveksi, dalam arti massa berpindah dari satu tempat ke tempat lain dalam sistem aliran. Perpindahan massa jenis ini biasanya terjadi pada tingkatan makroskopis dan biasanya ditangani sebagai masalah mekanika fluida. Bila campuran gas dan zat cair terkandung sedemikian rupa sehingga terdapat gradien konsentrasi pada salah satu atau beberapa konstituen dalam sistem itu, maka akan terjadi perpindahan massa dalam tingkat makroskopik sebagai akibat difusi atau pembauran dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah.

Difusi massa berlangsung tidak hanya atas dasar molekul, tetapi juga dalam sistem aliran turbulen dimana terjadi laju difusi yang dipercepat sebagai akibat proses pencampuran pusaran-cepat, sama seperti halnya proses pencampuran meningkatkan perpindahan kalor dan aksi viskos dalam aliran turbulen.

Perpindahan kalor sendiri dapat terjadi dengan berbagai cara.

1. Perpindahan kalor Konduksi

Jika pada suatu bahan terdapat suatu gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah dalam satu medium (padat, cair, gas).

2. Perpindahan kalor Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi karena adanya aliran panas dari permukaan suatu bahan ke luar (bahan lain).

Dimana konveksi itu sendiri dapat dibedakan menjadi:

- Konveksi alam (bebas) : gerakan disebabkan oleh perbedaan densitas di antara bahan dingin dan bahan panas.
- Konveksi paksa : gerakan disebabkan oleh gaya lain (seperti kipas angin).

Ketika fluida mengalir melalui permukaan pada suhu yang berbeda, panas akan mengalir diantaranya pada laju yang tergantung pada sifat fisik fluida dan macam pengaliran fluida.

3. Perpindahan kalor Radiasi

Terjadinya aliran panas melalui pemancaran.

Pemisahan fraksi ringan pada minyak pelumas bekas memerlukan panas yang tinggi sehingga harus dicari cara supaya perpindahan panas antara minyak dengan alat pemisah dapat seefisien mungkin. Faktor yang paling berpengaruh dalam perpindahan panas antara dinding pemanas dengan minyak pelumas bekas adalah koefisien perpindahan panas secara konveksi. (Kern, 1950).

Koefisien perpindahan panas secara konveksi merupakan fungsi dari sifat-sifat fisis minyak dan bentuk dari alat. Sifat-sifat fisis minyak meliputi : berat jenis, kapasitas panas, viskositas, konduktivitas dan panas penguapan. Disamping itu kecepatan aliran dan perbedaan suhu juga mempengaruhi harga koefisien perpindahan panas secara konveksi. (Mc. Adam, 1954)

Landasan Teori

Persamaan koefisien perpindahan panas konveksi merupakan fungsi dari sifat-sifat fisis minyak dan bentuk alat serta susunannya.

$$h = f(v, \rho, C_p, D, k, \mu, H, B, ?T)$$

v : kecepatan aliran

ρ : berat jenis

C_p : kapasitas panas

D : diameter

k : konduktivitas

h : koefisien perpindahan panas konveksi

μ : viskositas

H : panas penguapan

B : jarak penghalang

?T : beda suhu antara alat dan minyak

menurut teori dalam analisa dimensi bentuk persamaan tersebut diatas dapat diubah dalam bentuk perkalian dengan beberapa harga konstanta.

$$h : K V^{\alpha} \rho^{\beta} C_p^{\gamma} D^{\delta} k^{\epsilon} \mu^{\zeta} H^{\eta} B^{\theta} ?T^{\iota}$$

dengan mengubah dalam satuan masing-masing didapat persamaan :

$$HL^{-2}t^{-1}T^1 : [L^1t^{-1}]^{\alpha} [ML^{-3}]^{\beta} [HM^{-1}T^{-1}]^{\gamma} L^{\delta} [HL^{-1}t^{-1}T^1]^{\epsilon} [ML^{-1}t^{-1}]^{\zeta}$$

$$[ML^2t^2H^{-1}]^{\eta} L^{\theta} T^{-\iota}$$

satuan-satuan yang sama dijadikan satu sehingga didapat beberapa persamaan :

$$M : 0 = C_2 C_3 + C_6 + C_7, \dots \dots \dots (1)$$

$$L : -2 = C_1 - 3C_2 + C_4 - C_5 - C_6 + 2C_7 + C_8, \dots \dots \dots (2)$$

$$t : -1 = -C_1 - C_5 - C_6 - 2C_7, \dots \dots \dots (3)$$

$$T : -1 = -C_3 - C_5 + C_9, \dots \dots \dots (4)$$

$$H : 1 = C_3 + C_5 - C_7, \dots \dots \dots (5)$$

ada 5 buah persamaan dengan 9 buah bilangan yang tidak diketahui. Persamaan persamaan tersebut dapat diselesaikan bila beberapa bilangan dinyatakan dalam bilangan lainnya, misal dinyatakan dalam C_1, C_5, C_8, C_4 .

$$\text{dari persamaan (4) didapat : } C_3 = 1 - C_5 + C_9$$

$$(5) : C_7 = C_3 + C_5 - 1 \\ = 1 - C_5 + C_9 + C_5 - 1 \\ = C_9$$

$$(3) : C_6 = 1 - C_1 - C_5 - C_7 \\ = 1 - C_1 - C_5 - C_9$$

$$(1): C_2 = C_3 - C_6 - C_7 \\ = 1 - C_3 + C_9 - 1 + C_1 + C_5 + C_9 - C_9 \\ = C_1 + C_9$$

$$(2): C_4 = -2 - C_1 + 3C_2 + C_5 + C_6 - 2C_7 - C_8 \\ = -2 - C_1 + 3(C_1 + C_9) + C_5 + 1 - C_1 - C_5 - 2C_9 - 2C_9 - C_8 \\ = -1 + C_1 - C_9 - C_8$$

dari substitusi di atas didapat persamaan :

$$h = K v^{c1} \rho^{c1+c9} C_p^{1-c5+c9} D^{-1+c1-c9-c8} k^{c5} \mu^{1-c1-c5-2c9} H^{c9} B^{c8} \Delta T^{c9}$$

Sehingga dihasilkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$\frac{hD}{k} = K \left[\frac{\rho v d}{\mu} \right]^a \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^b \left[\frac{B}{D} \right]^c \left[\frac{\rho C_p H \Delta T}{D \mu^2 B} \right]^d$$

Dari rumus di atas terdapat konstanta a, b, c, d, dan K, dan untuk mendapatkan harga-harga dari konstanta tersebut dilakukan dengan cara memvariasikan dari kecepatan aliran fluida, sifat fisis fluida, dan perbedaan suhu.

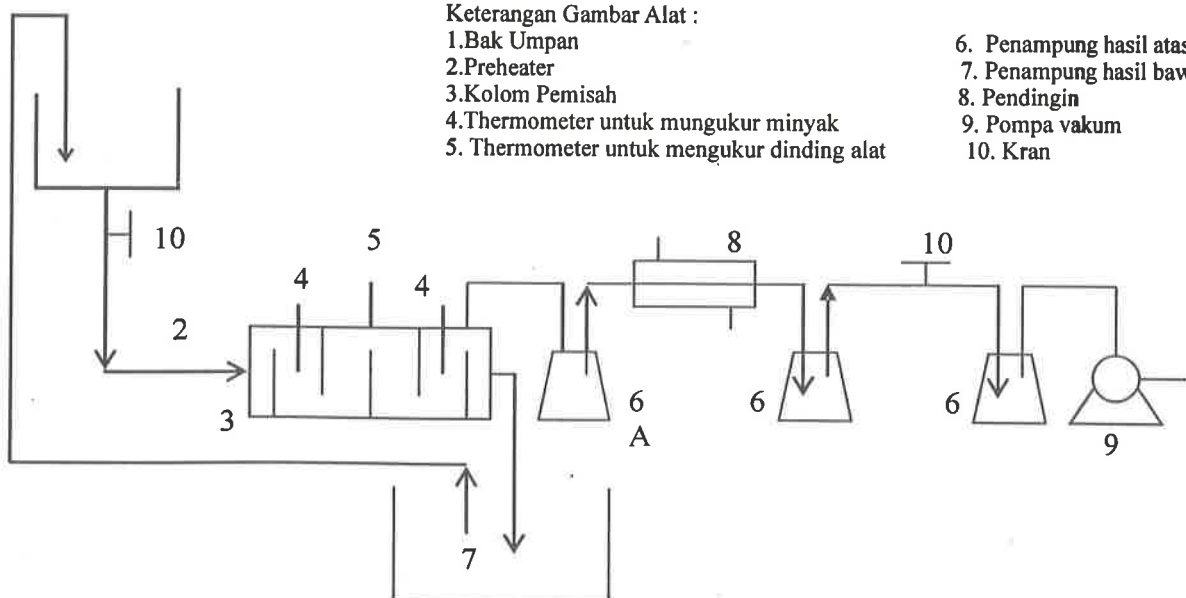
Adapun pengaruh dari sifat fisis minyak pelumas adalah : Sifat-sifat fisis minyak pelumas tidak diukur di dalam alat tetapi diukur di luar alat. Dengan mengukur sifat-sifat fisis pada beberapa temperatur akan didapat hubungan antara sifat-sifat fisis dengan suhu. Suhu rata-rata antara suhu masuk dan suhu keluar diukur kemudian sifat-sifat fisis dihitung berdasarkan persamaan yang telah diperoleh. Semakin besar bilangan prandtl ($C_p \mu / k$) maka harga koefisien perpindahan panas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena harga berat jenis, konduktivitas semakin menurun dengan naiknya temperature dan harga kapasitas panas semakin naik dengan naiknya temperature. Harga koefisien perpindahan panas konveksi diperoleh dari laju perpindahan panas konveksi dibagi dengan luas perpindahan panas dan beda suhu alat dengan bahan dengan mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$h = \frac{Q}{A(T_w - T_b)}$$

dimana, Q = panas latent + panas sensible

$$Q = (M_2 \cdot H) + (M_1 \cdot Cp(T_2 - T_1))$$

Alat



Keterangan Gambar Alat :

- 1. Bak Umpan
- 2. Preheater
- 3. Kolom Pemisah
- 4. Thermometer untuk mengukur minyak
- 5. Thermometer untuk mengukur dinding alat
- 6. Penampung hasil atas
- 7. Penampung hasil bawah
- 8. Pendingin
- 9. Pompa vakum
- 10. Kran

Gambar 1 Gambar Rangkaian alat

Hipotesis

Persamaan koefisien perpindahan panas konveksi pada pemisahan fraksi ringan minyak pelumas bekas dapat didekati dengan :

$$\frac{hD}{k} = K \left[\frac{\rho v d}{\mu} \right]^a \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^b \left[\frac{B}{D} \right]^c \left[\frac{\rho C_p H \Delta T}{D \mu^2 B} \right]^d$$

Dengan melakukan variasi kecepatan aliran, sifat fisis minyak pelumas bekas, diameter alat pemisah dan perbedaan suhu antara dinding alat pemisah dengan minyak, akan didapat harga konstanta a, b, c, d, dan K.

PELAKSANAAN PENELITIAN

Bahan

1. Minyak Pelumas Bekas

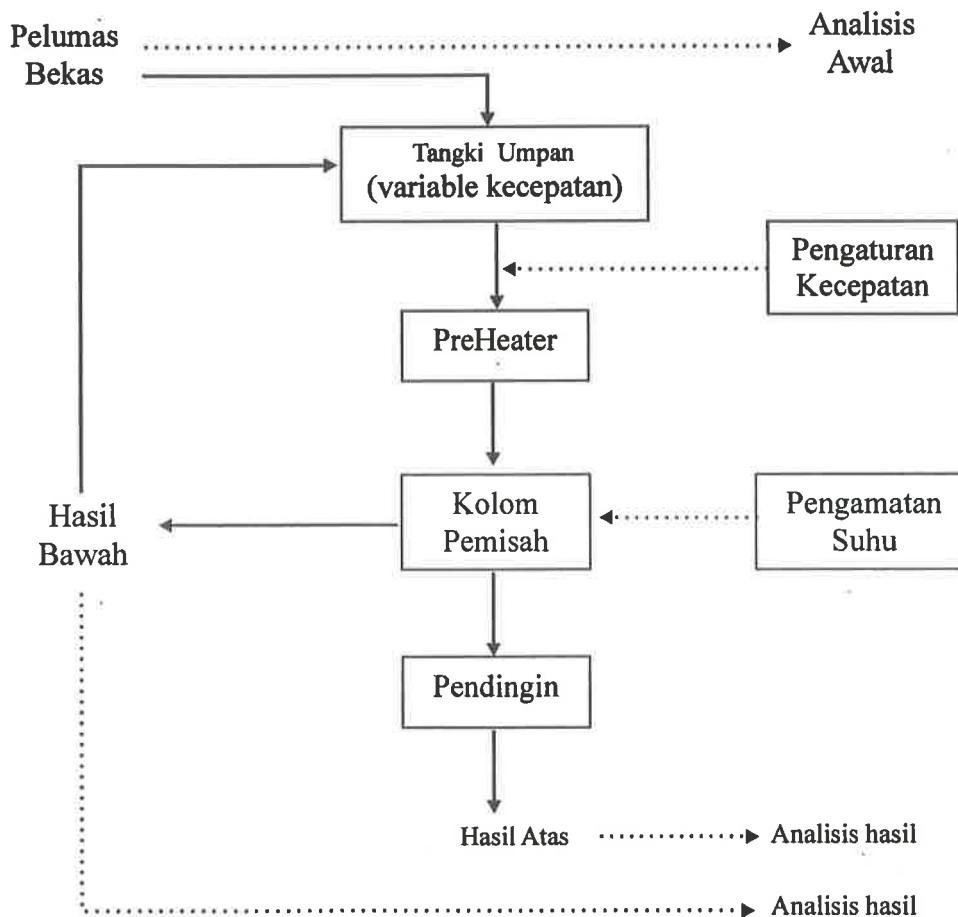
Spesifikasi dari minyak pelumas bekas dapat dilihat dari tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 3. Sifat fisis minyak pelumas bekas

Sifat fisis	Hasil
Specivic gravity 60/60	0.9109
Distilasi ASTM (°C)	
IBP	245
10%	347
50%	378
90%	389
EP	390
Viskositas kinematik	
100 °F	150
130 °F	63
210 °F	14
Flash point (°C)	234
Fire point (°C)	250
Kandungan air (%)	0.6

Cara Penelitian

1. Minyak Pelumas baru dan Minyak Pelumas bekas dianalisis
2. Minyak pelumas bekas dimasukkan kedalam tangki umpan, kemudian dialirkan melewati preheater.
3. Setelah itu dilanjutkan dengan dipanaskan didalam kolom pemisah sampai suhu 200C.
4. Hasil atas diembunkan dan kemudian dianalisis sifat fisisnya.
5. Hasil bawah ditampung untuk kemudian dimasukkan kembali ke tangki umpan.
6. Kecepatan aliran dicatat berdasar jumlah putaran kran yang dibuka dan sebelumnya sudah ditera.
7. Temperatur masuk (T), temperatur keluar (T) dan temperatur dinding (T) dicatat setelah mulai terjadi penguapan fraksi ringan

Skema Penelitian

Gambar 2 Diagram alir penelitian

keterangan : analisis hasil untuk menganalisis sifat-sifat fisis

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian disusun dalam tabel 4 s/d 10 dan terlukis dalam bentuk grafik seperti pada gambar 3 s/d 6. Penelitian dimulai dengan mempelajari pengaruh kecepatan aliran, kemudian pengaruh sifat fisis minyak, diameter alat pemisah dan perbedaan suhu antara dinding alat dengan minyak. Pemeriksaan terutama ditunjukkan pada harga koefisien perpindahan panas secara konveksi (h).

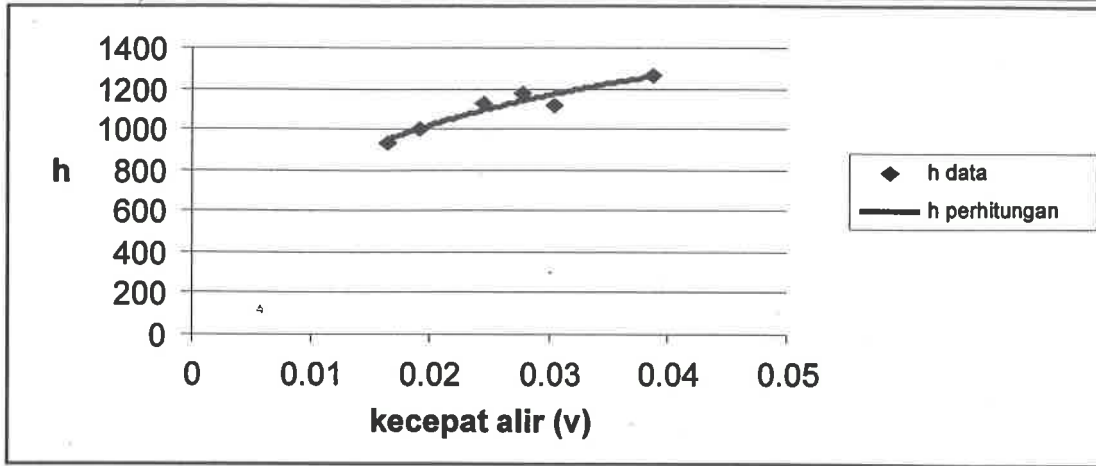
1. Pengaruh kecepatan aliran (v).

Pengaruh kecepatan aliran dari minyak terhadap perubahan harga koefisien perpindahan panas secara konveksi terlihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.1

4. Pengaruh kecepatan aliran

(Diameter 0.09 m, jarak penghalang 0.08 m, panjang pipa 0.5 m)

No.	Kecepatan $\left(\frac{m}{dt}\right)$	$h \left(\frac{W}{m^2(^{\circ}C)}\right)$
1	0.0163	895.3
2	0.019	999.3
3	0.0244	1129.5
4	0.0279	1172.7
5	0.0305	1116.5
6	0.0389	1264.2



Gambar 3. Pengaruh kecepatan aliran

Dari Tabel 4 dan gambar 3 terlihat bahwa harga koefisien perpindahan panas konveksi bertambah besar dengan bertambahnya kecepatan aliran. Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kecepatan aliran maka massa dari minyak yang melalui alat pemisah semakin bertambah, sehingga panas yang dipindahkan juga semakin besar.

Hubungan antara harga koefisien perpindahan panas konveksi dengan kecepatan aliran dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\ln h = \ln \left[\frac{\rho v D}{\mu} \right]^{0.4063} + 4.0513$$

dengan penyimpangan rata-rata = 0.287 %

2. Pengaruh sifat fisis minyak pelumas.

Sifat-sifat fisis minyak pelumas tidak diukur di dalam alat tetapi diukur di luar alat. Dengan mengukur sifat-sifat fisis pada beberapa temperatur akan didapat hubungan antara sifat-sifat fisis dengan suhu, seperti terlihat dalam lampiran. Suhu rata-rata antara suhu masuk dan keluar diukur kemudian sifat-sifat fisis dihitung berdasarkan persamaan yang telah diperoleh.

No.	T umpan	ρ $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$	C_p $\left(\frac{kJ}{kg(^{\circ}C)} \right)$	μ (x 10 ⁻³) $\left(\frac{kg}{m(dt)} \right)$	k (x 10 ⁻⁵) $\left(\frac{kJ}{dt(m)(^{\circ}C)} \right)$	h $\left(\frac{W}{m^2(^{\circ}C)} \right)$
1	170	792.8	2.617	1.73	1.1598	1108.0
2	175	791.3	2.617	1.67	1.1560	860.1
3	185	782.5	2.638	1.35	1.1511	1048.4
4	190	781.0	2.680	1.30	1.1477	1014.8
5	200	776.5	2.723	1.18	1.1425	957.6
6	215	767.7	2.742	0.97	1.1251	1018.4
7	225	761.8	2.763	0.86	1.1217	1091.3
8	230	757.3	2.805	0.783	1.1165	1198.6

Gambar 4. Pengaruh sifat fisis minyak

Dari Tabel 5. dan gambar 4. menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Prandtl ($C_p \mu / k$) maka harga koefisien perpindahan panas konveksi semakin menurun. Hal itu disebabkan karena harga kapasitas panas dan konduktivitas semakin menurun dengan naiknya temperature dan harga kapasitas panas semakin naik dengan naiknya temperature.

Hubungan antara harga koefisien perpindahan panas konveksi dengan sifat-sifat fisis minyak pelumas dinyatakan dengan persamaan :

$$\ln h = -0.4604 \ln \frac{C_p \mu}{k} \left[\frac{\rho v D}{\mu} \right]^{0.4063} + 10.7862$$

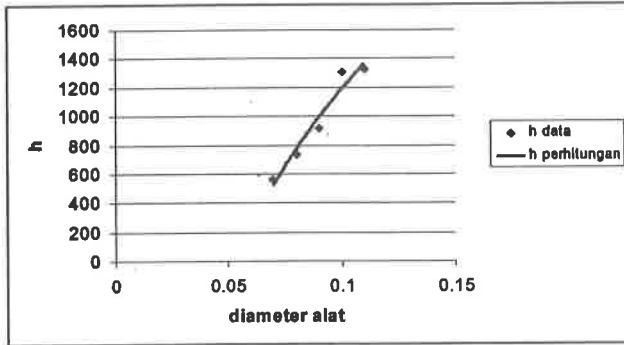
dengan penyimpangan rata-rata = 6.59 %

3. Pengaruh diameter alat pemisah

Pengaruh diameter alat pemisah terhadap harga koefisien perpindahan panas konveksi terlihat pada tabel 6. dan gambar 5.

Tabel 6. Pengaruh diameter alat pemisah (Jarak penghalang 0.08 m, panjang pipa 0.5 m, kecepatan aliran 0.0163 m/dt)

No.	Diameter (m)	$h \left(\frac{W}{m^2(^{\circ}C)} \right)$
1	0.11	1331.0
2	0.11	306.1
3	0.09	918
4	0.08	733.5
5	0.07	559.9



Gambar 5. pengaruh diameter alat pemisah

Dari Tabel 6 dan gambar 5. terlihat bahwa harga koefisien perpindahan panas konveksi menurun dengan semakin kecilnya diameter. Hal itu disebabkan semakin kecil diameter maka luas transfer panas juga semakin kecil. Hubungan antara harga koefisien perpindahan panas konveksi dengan diameter alat pemisah dapat dinyatakan dengan persamaan :

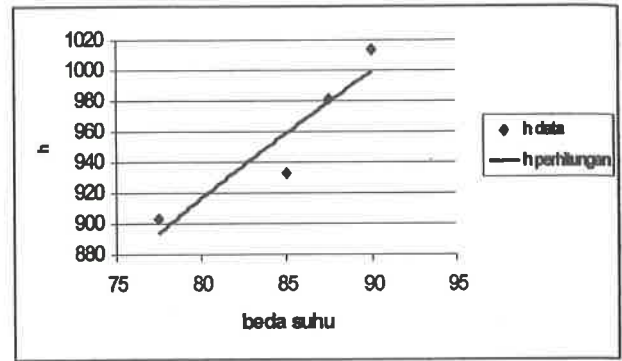
$$\ln h = -1.94 \ln \frac{B}{D} \left[\frac{\rho v D}{\mu} \right]^{0.4063} \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^{-0.4604} + 6.5725$$

4. Pengaruh perbedaan suhu (ΔT_m)

Pengaruh perbedaan suhu antara dinding alat dengan minyak terhadap koefisien perpindahan panas konveksi terlihat pada tabel 3.4 dan gambar 3.4.

Tabel 7. Pengaruh perbedaan suhu. (Diameter 0.09 m, jarak penghalang 0.08 m, panjang pipa 0.5 m, kecepatan aliran 0.0163 m/dt)

No.	Perbedaan suhu ($^{\circ}C$)	$h \left(\frac{W}{m^2(^{\circ}C)} \right)$
1	77.5	903.1
2	85	932.5
3	87.5	981.4
4	90	1013.6
5	97.5	869.7



Gambar 6. Pengaruh perbedaan suhu

Dari Tabel 7. dan gambar 6. terlihat bahwa harga koefisien perpindahan panas konveksi semakin naik dengan bertambahnya perbedaan suhu. Hal itu disebabkan karena semakin besar perbedaan suhu maka panas yang dipindahkan juga semakin besar.

Hubungan antara harga koefisien perpindahan panas konveksi dengan perbedaan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\ln h = 1606.8 \frac{k}{D} \left[\frac{\rho C_p H \Delta T}{D \mu^2 B} \right]^{-0.0153} \left[\frac{\rho v D}{\mu} \right]^{0.4063} \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^{-0.4604} \left[\frac{B}{D} \right]^{-1.94}$$

dengan penyimpangan rata-rata = 0.558 %

5. Hasil atas dari penelitian.

Hasil atas dari penelitian merupakan fraksi antara fraksi solar dan fraksi Industrial Diesel Oil (IDO).

Tabel 8. Sifat-sifat fisis hasil atas

No.	Pemeriksaan	Hasil
1	Specivic gravity 60/60	0.8728
2	Viskositas Redwood I 100 ^o F (secs)	41.0
3	Colour ASTM	5.5
4	Flash point ($^{\circ}C$)	200

6. Hasil bawah dari penelitian.

Hasil bawah dari penelitian merupakan fraksi dari minyak pelumas. Sifat-sifat fisis dari hasil bawah dapat dilihat pada tabel 9

Tabel 9. Sifat-sifat fisis hasil bawah

No.	Pemeriksaan	Hasil	
1	Specivic gravity 60/60	0.8910	
2	Flash point ($^{\circ}C$)	252	
3	Fire Point ($^{\circ}C$)	266	
4	Viskositas kinematik (c st) :	100 ^o F	160.7
		130 ^o F	70.4
		210 ^o F	215.4
5	Index viskositas	104.1	

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Hasil bawah dari percobaan ini berupa fraksi berat minyak pelumas.
2. Dibandingkan dengan sifat fisis minyak pelumas bekas sebelumnya, hasil bawah dari penelitian ini memiliki sifat fisis yang lebih baik.
3. Harga koefisien perpindahan panas konveksi mengikuti persamaan :

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Arif Widodo dan Yudi Suharno, yang telah membantu pengambilan data.

DAFTAR LAMBANG

A	=	luas transfer panas, m ²
a, b, c, d, K	=	konstanta
B	=	jarak penghalang, m
C _p	=	kapasitas panas, kJ/kg °C
D	=	diameter, m
H	=	panas penguapan, kJ/kg
H	=	koefisien perpindahan panas konveksi, W/m ² °C
k	=	konduktivitas, kJ/dt m °C
M	=	massa minyak, kg
Pr	=	bilangan prandtl
Q	=	laju alir panas, kJ/dt
Re	=	bilangan reynold
T ₁	=	suhu minyak masuk, °C
T ₂	=	suhu minyak keluar, °C
T _w	=	suhu dinding alat, °C
v	=	kecepatan aliran, m/dt
μ	=	viskositas, kg/m dt
ρ	=	berat jenis, kg/m ³
ΔT	=	beda suhu antara alat dan minyak, °C

DAFTAR PUSTAKA

- Hardjono, 1987, "*Teknologi Minyak Bumi I*", pp.40,97-109, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Kontawa, A., 1986, "*Studi Pengawalograman Minyak Lumas Bekas Melalui Proses Ekstraksi dengan Larutan detergent Sintetis Teepol sebagai Pelarut*", pp.7-8, Lembaran Publikasi Lemigas No. 4/1986.
- McCabe, W.L., Smith, J.C., 1990, "*Operasi Teknik Kimia. Terjemahan : Unit Operation of Chemical Engineering*", ed. 4, pp. 80-103, Erlangga, Jakarta.
- Subiyanto, 1989, "*Jenis-jenis Logam yang Terdapat dalam Minyak Lumas Bekas dan Sumber Asalnya*", p.37, Lembaran Publikasi Lemigas No. 1/1989
- Mc Adams, 1954, "*Heat Transmission*", pp.325-368, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Kern, 1983, "*Proses Heat Transfer*", pp.25-57, McGraw-Hill Book Company, inc., Tokyo.
- Nelson, W.L., 1958, "*Petroleum Refinery engineering*", 4th ed., pp.23-26, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.