

ESTIMASI KETIDAKPASTIAN DARI PENGUKURAN NILAI VISKOSITAS KINEMATIK (VK) PELUMAS BERDASARKAN STANDAR ASTM D 445 PADA TEMPERATUR 40 °C DAN 100 °C DI LABORATORIUM PELUMAS PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MINYAK DAN GAS BUMI (PPPTMGB) LEMIGAS

Ineke Febrina¹⁾, Meirinda Ika Silvia²⁾

1Program Studi Teknik Analisis Laboratorium Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

2Program Studi Teknik Pertambangan Batubara Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

Abstrak : Pelumas adalah suatu bahan yang berfungsi untuk mencegah atau mengurangi keausan antara dua permukaan benda bergerak yang saling bergesekan. Untuk memberikan perlindungan pada bagian yang bergerak, pelumas harus memenuhi standar spesifikasi salah satunya adalah viskositas. Tujuan percobaan ini adalah mengukur viskositas kinematik pelumas, menghitung rentang nilai benar dari setiap pengukuran nilai viskositas kinematik pada sampel pelumas sesuai dengan standar ASTM D 445 pada temperatur 40 °C dan 100 °C. Perhitungan Estimasi ketidakpastian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu menentukan model matematis dari pengukuran, mengidentifikasi sumber-sumber ketidakpastian, menghitung ketidakpastian dari sumber-sumber ketidakpastian dan menentukan ketidakpastian diperluas pada tingkat kepercayaan 95%. Dimana nilai ketidakpastian yang diperoleh dari Viskositas kinematik dengan kode 1220 pada 40 °C sebesar ± 0.0080 cSt. Viskositas kinematik dengan kode 1220 pada 100 °C sebesar ± 0.106 cSt. Viskositas Kinematik dengan kode 1218 pada 40 °C sebesar ± 0.0054 cSt. Viskositas kinematik dengan kode 1218 pada 40 °C sebesar ± 0.0842 cSt.

Kata kunci : Viskositas kinematik, Ketidakpastian, Pelumas.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelumas adalah suatu bahan yang berfungsi untuk mencegah atau mengurangi keausan antara dua permukaan benda bergerak yang saling bergesekan. Suatu cairan baru dapat dikategorikan sebagai pelumas jika mengandung bahan baku pelumas (*base oil*) dan aditif. Baik buruknya pelumas ataupun benar tidaknya penggunaan pelumas secara langsung akan mempengaruhi kemampuan operasi dan efisiensi mesin. Sehingga dipasaran banyak terdapat spesifikasi pelumas untuk tiap jenis mesin tertentu. Hal ini dilakukan agar dalam kinerjanya pelumas dapat bekerja secara efektif dan optimal sesuai jenis pekerjaan dan jenis bahan yang dilumasi. Pelumas yang baik adalah pelumas

yang mampu menjaga mesin agar tidak terjadi gesekan antar mesin dan mampu membersihkan komponen mesin dari pengotor yang dapat dihasilkan oleh mesin selama bekerja.

Untuk memberikan perlindungan pada bagian yang bergerak, pelumas harus memenuhi standar spesifikasi salah satunya adalah viskositas. Sifat viskositas memegang peranan yang penting dalam hal aliran. Pada umumnya alat yang digunakan untuk mengukur viskositas ialah viskometer. Viskometer merupakan alat untuk mengukur nilai viskositas atau kekentalan suatu fluida. Pada alat ini dihitung waktu alir fluida dari batas ukur pertama sampai batas ukur kedua sehingga nilai viskositas dari fluida yang diujikan dapat diketahui.

Setiap pengukuran dalam suatu pengujian viskositas kinematik maupun yang lainnya selalu ada kesalahan, karena nilai yang dihasilkan hanyalah merupakan nilai dugaan terhadap nilai sebenarnya, sehingga hasil pengukuran kurang dapat dipercaya karena tidak ada pernyataan kuantitatif kesalahan. Maka diperlukan suatu indikator untuk mengukur kualitas dari suatu pengukuran yang harus memenuhi persyaratan diantaranya : universal, konsisten, dapat diukur dan mempunyai arti yang jelas serta tidak membingungkan, indikator tersebut adalah ketidakpastian pengukuran. Ketidakpastian adalah suatu parameter yang menetapkan rentang atau kisaran yang didalamnya diperkirakan ada nilai benar atau kuantitas yang diukur. Ketidakpastian diperlukan untuk setiap hasil pengukuran agar mutu pengukuran dapat diakses sesuai kebutuhan. Berdasarkan latar belakang diatas dapat diketahui bahwa analisa viskositas kinematik sangat penting untuk sampel pelumas maka hal tersebut yang melatar belakangi penulis memilih judul **“Estimasi Ketidakpastian dari pengukuran nilai Viskositas Kinematik (VK) pelumas berdasarkan standar ASTM D 445 pada temperatur 40 °C dan 100 °C di Laboratorium Pelumas Pusat Penelitian dan Pengembangan Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) LEMIGAS”**.

1.2 Tujuan

1. Mengetahui proses atau cara pengujian viskositas kinematik didalam minyak pelumas baik pada suhu 40°C maupun pada suhu 100 °C serta dapat menghitung nilai viskositas kinematik pada sampel pelumas.
2. Mengetahui faktor-faktor kesalahan apa saja yang dapat mempengaruhi

nilai dari pengujian viskositas kinematik.

3. Mengetahui rentang nilai benar dari setiap pengukuran nilai viskositas kinematik pada sampel pelumas.

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Pelumas

Pelumas adalah zat kimia yang umumnya cairan dan diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat ini merupakan fraksi hasil distilasi minyak bumi yang memiliki suhu 300 °C – 350 °C. Umumnya pelumas terdiri dari 90% minyak dasar (*base oil*) dan 10 % zat tambahan.

2.2. Viskositas

Viskositas adalah ukuran besaran tahanan yang diberikan oleh pelumas untuk mengalir atau lamanya waktu alir sejumlah volume tertentu dari pelumas melalui kapiler berdasarkan gravitasi. Viskositas menentukan:

- a. Kemampuan pelumas untuk menahan beban.
- b. Daya yang diperlukan untuk mengatasi gesekan.

Dalam hal ini viskositas terbagi menjadi:

Tinggi rendahnya viskositas indeks ini menunjukkan ketahanan kekentalan minyak pelumas terhadap perubahan suhu. Makin tinggi angka indeks minyak pelumas, makin kecil perubahan viskositasnya pada penurunan atau kenaikan suhu. Nilai viskositas indeks ini dibagi dalam 3 golongan, yaitu :

1. HVI (*High Viskositas indeks*),
2. MVI (*Medium Viskositas indeks*), dan
3. LVI (*Low Viskositas indeks*).

Kegunaan : 1. Viskositas indeks digunakan untuk mengetahui pengukuran dari perubahan viskositas kinematik karena perubahan pada

temperatur dari produk minyak pelumas antara 40 °C dan 100 °C.

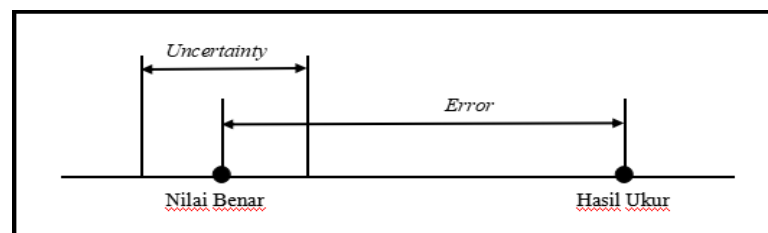
Kegunaan :

1. Viskositas indeks digunakan untuk mengetahui pengukuran dari perubahan viskositas kinematik karena perubahan pada temperatur dari produk minyak pelumas antara 40 °C dan 100 °C.
2. Sebuah Viskositas Indeks tinggi mengindikasikan sedikit penurunan pada viskositas kinematik dengan meningkatnya temperatur dari minyak pelumas.

2.3. Ketidakpastian

Ketidakpastian (*Uncertainty*) adalah parameter hasil pengukuran yang memberikan karakter sebaran nilai-nilai yang secara layak dapat diberikan pada besaran ukur. Dengan

kata lain ketidakpastian adalah suatu parameter yang menetapkan rentang ukur atau kisaran yang didalamnya diperkirakan ada nilai benar atau kuantitas yang diukur. Perbedaan yang mendasar antara ketidakpastian dan kesalahan atau *error* adalah : ketidakpastian berupa rentang atau kisaran hasil pengukuran dan tidak perlu nilai benar, sedangkan kesalahan atau *error* merupakan hasil pengukuran tunggal dan diperlukan nilai benar menggunakan bahan acuan standar yang mampu telusur. Ilustrasi perbedaan antara ketidakpastian dan kesalahan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 1.1. Ilustrasi perbedaan ketidakpastian dan kesalahan

Ketidakpastian pengukuran mencerminkan kurangnya pengetahuan yang pasti tentang nilai besaran ukur. Hasil pengukuran setelah dikoreksi terhadap kesalahan sistematis masih berupa perkiraan nilai besaran, karena masih terdapat ketidakpastian yang berasal dari pengaruh acak dan koreksi kesalahan sistematis yang tidak sempurna. Konsep ketidakpastian didasarkan pada besaran teramati yang diperoleh dengan pengukuran, hal ini berbeda dengan konsep ideal kesalahan (*error*) yang didasarkan pada besaran yang tidak diketahui.

2.3.2. Tahap Uji Ketidakpastian

1. Persiapan

Langkah-langkah penentuan ketidakpastian

a. Model Matematis

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

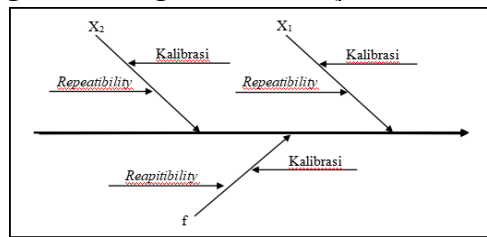
Tentukan hubungan fungsional antara besaran yang diuji atau diukur Y dari nilai N buah besaran masukan X_i sebagai berikut :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

b. Identifikasi Sumber - sumber Ketidakpastian

Proses identifikasi sumber ketidakpastian pengukuran, terutama untuk proses pengukuran yang melibatkan banyak besaran masukan atau besaran yang berpengaruh maka dapat digunakan diagram *Ishikawa* atau diagram sebab akibat (*cause and effect*

diagram) atau disebut juga diagram tulang ikan (fish bone diagram).



Gambar 1.2. Diagram Sebab Akibat / Diagram Tulang Ikan

2. Pelaksanaan

a. Evaluasi Ketidakpastian

a). Pengamatan berulang :

Hitung rata-rata dari n pengamatan berulang :

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

b) Hitung Standar Deviasi :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana SD : Standar deviasi

x_i = hasil setiap pengukuran

$\sum x_i$ = jumlah semua hasil pengukuran

$\bar{X}$ = nilai rata-rata pengukuran

n = banyaknya data pengukuran

c) Hitung simpangan baku rata-rata (ESDM) :

$$ESDM = SD / \sqrt{n}$$

Evaluasi tipe A dengan notasi μ_A dari suatu besaran yang ditentukan dari n pengukuran berulang yang saling bebas adalah nilai ESDM :

$$\mu_A = ESDM$$

Dimana :

ESDM : *Experimental standard deviation of mean*

μ_A = ketidakpastian baku evaluasi tipe A

b. Evaluasi Tipe B (Cara Non Statistik)

Hitung ketidakpastian baku tipe B ini berdasarkan distribusi kejadiannya sebagai berikut :

a) Distribusi Normal (*Gaussian Distribution*)

Distribusi Normal atau *Gaussian Distribution*, digunakan jika sumber ketidakpastian diambil dari sertifikat kalibrasi (a) yang ditetapkan pada tingkat kepercayaan 95%, maka :

$$\mu = \frac{a}{2}$$

b) Distribusi Segi Empat (*Rectangular*)

Distribusi Segi Empat atau *Rectangular*, digunakan jika batas dapat ditentukan namun nilai besaran ukur tampak berada disemua tempat dalam rentang tersebut. Ketidakpastian baku diperoleh dengan membagi setengah rentang (a) dengan $\sqrt{3}$, yaitu $\mu = a/\sqrt{3}$

$$\mu = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

c. Distribusi Segi Tiga (*Triangular*)

Distribusi segitiga atau *triangular* digunakan jika, terdapat bukti bahwa nilai yang paling mungkin adalah nilai yang paling dekat dengan nilai rata-rata, lebih dekat dengan batas rentang, kemungkinannya berkurang menuju “0”. Ketidakpastian baku

diperoleh dengan membagi setengah rentang (a) dengan $\sqrt{6}$, yaitu :

$$\mu = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

d. Distribusi bentuk U

Ketidakpastian baku diperoleh dengan membagi setengah rentang (a) dengan $\sqrt{2}$ yaitu :

$$\mu = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

2. Ketidakpastian yang Diperluas (*Expanded Uncertainty*)

Hitung ketidakpastian yang diperluas :

$$U = k u_c(y)$$

Ketidakpastian diperluas yang dilaporkan umumnya pada tingkat kepercayaan 95%.

3. Cara penyajian Ketidakpastian Hasil Pengujian

Nilai yang dilaporkan direkomendasikan agar terdiri hanya angka-angka yang memang signifikan. Resolusi 10% dari ketidakpastian biasanya dirasakan memadai. Direkomendasikan agar hasil pengujian dilaporkan sebagai berikut : $0,025 \pm 0,006$ mg/kg (pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan 2).

a. Pengamatan berulang :

Hitung rata-rata dari n pengamatan berulang :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

b. Hitung Standar Deviasi :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana SD : Standar deviasi

X_i = hasil setiap pengukuran

$\sum X_i$ = jumlah semua hasil pengukuran

$\bar{X}$ = nilai rata-rata pengukuran

n = banyaknya data pengukuran

Hitung simpangan baku rata-rata (ESDM) :

$$ESDM = SD / \sqrt{n}$$

Evaluasi tipe A dengan notasi μ_A dari suatu besaran yang ditentukan dari n pengukuran berulang yang saling bebas adalah nilai ESDM :

$$\mu_A = ESDM$$

Dimana :

ESDM = *experimental standard deviation of mean*

μ_A = ketidakpastian baku evaluasi tipe A

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Kegiatan penelitian ini dilakukan di laboratorium Pelumas Kelompok Pelaksanaan Penelitian dan Pengembangan Teknologi Aplikasi Produk pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) LEMIGAS. Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan dari tanggal 1 April 2017 – 30 April 2017.

3.2 Pengujian Viskositas Kinematik

3.2.1 Pengujian Viskositas Kinematik pada Temperatur 40 °C

1. Tujuan

Kondisi operasi peralatan sangat tergantung pada viskositas fluida yang akan diuji. Oleh karena itu, penentuan viskositas yang tepat adalah penting untuk spesifikasi produk.

2. Ruang Lingkup

Instruksi kerja ini menjelaskan prosedur untuk menentukan viskositas kinematik dari produk minyak bumi, yang transparan maupun tidak tembus pandang, dengan cara mengukur waktu yang diperlukan oleh suatu volume fluida untuk mengalir di bawah gravitasi, melalui suatu viskometer kapiler gelas yang terkalibrasi. Viskositas dinamik dapat dihitung dengan cara

mengalikan viskositas kinematik dengan densitas dari fluida.

3. Dokumen Acuan

ASTM D 445 “*Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids*”.

4. Peralatan

- 1) *Viscometer CAV – 2000*

a. Unit Penangas, terdiri dari:

1. *Keypad control* untuk data *Local mode, tray heater, power switch* dan *Remote / Local switch*.
2. Penangas untuk mempertahankan suhu uji pada tabung uji sesuai suhu yang diinginkan.
3. Tabung uji (2 unit) untuk menguji viskositas kinematik 3 – 300 cSt (sebelah kiri) dan 10 – 1000 cSt (sebelah kanan).

b. *Sample Tray* (2 unit) untuk menaruh vial percontoh. *Tray* kiri untuk kekentalan percontoh dari 3 – 300 cSt dan *Tray* kanan untuk kekentalan percontoh 10 – 1000 cSt.

c. *Pneumatic Drawer Control* untuk penyetelan gerakan *tray* percontoh dan gerakan vial ke tabung uji.

- 2) *Service unit*, untuk penyetelan sumber tekanan udara kompresor (40 – 50psi), NSLV (15 – 20 psi) dan pompa vakum (- 8 inch mercury), sesuai yang dibutuhkan.
- 3) Tangki pelarut, terdiri dari tangki A untuk *Toluene* (pembersih) dan Tangki B untuk *Hexane* (pengering).
- 4) Kompresor Udara, sebagai sumber tenaga tekanan udara.
- 5) Komputer Pentium IV, terutama berisi *Software VISC PRO* untuk mengukur viskositas kinematik. *Software* ini mengontrol pengoperasian pengujian, pencucian tabung, pengeringan tabung dan menghitung data hasil pengujian

yang secara otomatis tersimpan pada memori data hasil uji pada *software*. Komputer dilengkapi juga dengan printer untuk mencetak data hasil uji jika dibutuhkan.

5. Prosedur Pengujian

1. Persiapan Peralatan

- a. Tekan tombol “ON” pada kompresor udara
- b. Cek ketinggian *silicon oil* pada unit penangas, minimal $\frac{1}{4}$ di bawah lensa atas dari unit penangas.
- c. Pasang termometer yang sesuai dengan temperatur pengujian 40 °C atau 100 °C.
- d. Periksa ketinggian pelarut *Toluene* dan *Hexane*, harus berada diantara min dan max.

2. Menghidupkan Peralatan CAV 2000

- a. Tekan tombol Power (tombol merah) pada panel Unit Penangas.
- b. Tekan tombol “ON” pada *Service Unit* dan periksa :

1. *Main Air* 40 – 50 psi nominal
2. NSLV 10 -13 psi nominal
3. *Vacuum* (-8) sampai (-10) Hg nominal

1) Periksa bagian belakang *Service Unit* : bagian *Liquid drain* harus kosong

2) Tekan tombol RMT/LOC pada panel Unit Penangas agar posisi pada *Remote*.

(Posisi LOCAL adalah posisi kontrol manual dari alat CAV – 2000 melalui *keypad* pada panel Unit Penangas dan data tidak dapat disimpan pada *VISC PRO database*).

3) Nyalakan komputer, buka program VISC PRO.

3. Memasukkan Konstanta Kalibrasi dan Pengaturan Temperatur.

Memasukkan nilai konstanta C dan E serta temperatur uji melalui program VISCPRO sebagai berikut :

- a. Klik “LOG IN “ pada MAIN MENU. Pilih “MANAGER”, klik “OK”.
- b. Klik “CONFIGURE” ; “AV2K1h : 5273”, Pilih “CALIBRATION”
- c. Rubah / Tulis C dan E dari data kalibrasi untuk temperatur uji (40 °C atau 100 °C) untuk setiap *bulb* 1, 2, 3 pada masing-masing *tube* 1 dan 2 dan klik “Up date TUBE”.
4. Pengujian Minyak Lumas Percontoh :
 - a. Tuangkan minyak lumas yang akan diuji ke dalam Vial Glass dan taruh pada Vial Adaptor Baja yang tersedia pada Tray Percontoh sesuai dengan perkiraan viskositasnya. Tray 1 untuk viskositas 3 – 300 (percontoh encer) dan Tray 2 untuk viskositas 10-1000 (percontoh kental).
 - b. Posisikan Tray Percontoh sampai tanda panah merah bertemu.
 - c. Biarkan temperatur penangas menjadi stabil sebelum pengujian percontoh dimulai.
 - d. Pada window AV2K 1 h : 5273-5273, pilih tray (1/2) yang akan digunakan dan klik kiri mouse 2 kali untuk memasukkan nomor minyak lumas uji pada kolom “Sampel ID” dan klik kanan untuk memilih “ Measure Sample Viscosity” .
 - e. Pada sebelah kanan window AV2K 1 h : 5273-5273, perhatikan Tray Status
1 : Ready
2 : Ready
Temperatur
Target : 40 °C atau 100 °C
Current : 40 °C atau 100 °C
Machine Status
Ready

f. Klik “RUN”, pengujian minyak lumas dimulai secara otomatis.

g. Hasil uji dapat dilihat pada window “ Sample Data Table”.

3.3.2 Pengujian Viskositas Kinematik pada Temperatur 100 °C

1. Metode dan prinsip

Waktu (diukur dalam detik) yang diperlukan suatu volume cairan untuk mengalir secara gravitasi melalui kapiler viskometer yang terkalibrasi pada suatu suhu yang terkontrol dengan teliti. Viskositas kinematik dapat dihitung dengan mengalikan waktu alir yang terukur dengan konstanta kalibrasi viskometer. Diperlukan dua kali penentuan untuk menghitung hasil viskositas kinematik, yaitu rata-rata dari dua nilai penentuan yang diterima.

2. Dokumen Acuan

Standard ASTM D 445 – 06 : *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*.

3. Alat dan Bahan

a. Alat :

- 1) Viscometer bath
- 2) Viscometer tube terkalibrasi
- 3) Penyangga viscometer tube
- 4) Squart timer / stopwatch
- 5) Pompa vaccum
- 6) Vial

b. Bahan :

- 1) Sampel Pelumas
- 2) Toluene
- 3) N-heksan

4. Prosedur Pengujian

1. Persiapan Peralatan Uji

- a. Sesuaikan dan pertahankan viscometer bath pada suhu pengujian yang diperlukan dengan memperhatikan batasan tertentu

dengan mempertimbangkan kondisi yang diberikan dan koreksi yang diberikan pada sertifikat kalibrasi untuk termometer.

- b. Pilih viskometer *tube* terkalibrasi yang bersih dan kering yang memiliki rentang mencakup perkiraan viskositas kinematik dari sampel (yaitu, kapiler lebar untuk cairan yang sangat kental dan yang kapiler lebih kecil untuk cairan yang lebih encer). Waktu alir untuk viskometer manual tidak akan kurang dari 200 detik. Waktu alir yang kurang dari 200 detik diperbolehkan untuk viskometer otomatis.

5. Cara Memilih *Viscometer Tube* Yang Sesuai

Pemilihan dari *viscometer tube* yang digunakan untuk pengujian sampel dipilih berdasarkan perkiraan nilai dari viskositas kinematik yang dimiliki sampel dan setelah memperkirakan nilai viskositas kinematik dari sampel tersebut, kita lihat berada di rentang *viscometer tube* mana nilai perkiraan viskositas kinematik sampel. Gunakan *viscometer tube* yang perkiraan nilai viskositas kinematiknya masuk pada rentangnya.

Tabel 3.1. Rekomendasi Rentang Viskositas untuk Viskometer Cannon-Fenske Opaque Pada Suhu 100 °C

Size Tube	Range (cSt)
100	3 to 15
150	7 to 35
200	20 to 100
350	100 to 500
400	240 to 1200
450	500 to 2500

2. Persiapan Sampel

Ketika suhu pengujian berada di bawah titik pengembunan, isi viskometer dengan cara yang normal seperti yang diperlukan. Untuk memastikan uap air tidak terkondensasi atau bertahan di dinding kapiler, sedot sampel kedalam kapiler kerja dan *bulb* pengukuran waktu, pasang karet sumbat pada *tube* menahan sampel di tempatnya dan masukan viskometer kedalam *bath*. Setelah dimasukan, biarkan viskometer mencapai suhu *bath* dan lepaskan karet sumbat. Ketika melakukan pengukuran manual viskositas kinematik, jangan gunakan viskometer tersebut yang mana tidak boleh lepas dari suhu konstan *bath*.

Note : diamkan selama 30 menit untuk menyesuaikan suhu viskometer dengan suhu *bath*.

3. Pengujian

Amati dan hitung waktu aliran sampel didalam *viscometer tube* sampai batas *stop lower timer* dan catat waktunya. Kemudian amati dan hitung kembali waktu aliran sampel sampai batas *stop upper timer* catat kedua waktu tersebut.

4. Hitung nilai Viskositas Kinematik

$$VK_{lower} = C_{lower} \times t_{lower}$$

$$VK_{upper} = C_{upper} \times t_{upper}$$

$$VK_{total} = (VK_{lower} + VK_{upper})/2$$

Note : C_{lower} = konstanta *lower bulb*

t_{lower} = waktu alir *lower bulb*

C_{upper} = konstanta *upper bulb*

t_{upper} = waktu alir *upper bulb*

5. Pencucian *Viscometer*

Bersihkan *viscometer* dengan beberapa bilasan oleh pelarut sampel, kemudian oleh pelarut pengering. Keringkan *tube* dengan meniupkan aliran udara kering yang sudah disaring melewati *viscometer* selama 2 menit atau hingga sisa solvent terakhir hilang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Tabel 1. Data Waktu Hasil Pengujian Viskositas Kinematik Sampel Pelumas Dengan Kode Sampel 1220 Pada Suhu 40 °C

Pengulangan	Tube S/N	Tray	Bulb	Time (Second)	VK (cSt)	Rata-rata VK (cSt)
1	4913	2	2	90,33	79,17	79,16
2	4913	2	2	90,38	79,21	
3	4913	2	2	90,22	79,07	
4	4913	2	2	90,33	79,17	
5	4913	2	2	90,35	79,18	
6	4913	2	2	90,33	79,17	

Tabel 2. Data Waktu Hasil Pengujian Viskositas Kinematik Dengan Kode Sampel 1220 Pada Suhu 100°C

Pengulangan	Using Bulb	Timer (Second)		VK Total (cSt)	Rata-rata VK Total (cSt)
		Lower	Upper		
1	100	564,20	710,61	10,8261	10,8275
2	100	564,08	711,16	10,8291	
3	100	564,33	710,47	10,8263	
4	100	564,12	711,07	10,8288	
5	100	563,97	711,14	10,8279	
6	100	564,47	710,39	10,8270	

Tabel 3. Data Waktu Hasil Pengujian Viskositas Kinematik Sampel Pelumas Dengan Kode Sampel 1218 Pada Suhu 40°C

Pengulangan	Tube S/N	Tray	Bulb	Time (Second)	VK (cSt)	Rata-rata VK (cSt)
1	4913	2	2	167,10	146,4	146,85
2	4913	2	2	167,61	146,9	
3	4913	2	2	167,68	147,0	
4	4913	2	2	167,61	146,9	
5	4913	2	2	167,64	146,9	
6	4913	2	2	167,68	147,0	

Tabel 4. Data Waktu Hasil Pengujian Viskositas Kinematik dengan Kode Sampel 1218 Pada Suhu 100°C

Pengulangan	Using Bulb	Timer (Second)		VK Total (cSt)	Rata-rata VK Total (cSt)
		Lower	Upper		
1	150	581,40	707,63	18,9459	18,9443
2	150	581,61	707,37	18,9458	

Pengulangan	Using Bulb	Timer (Second)		VK Total (cSt)	Rata-rata VK Total (cSt)
		Lower	Upper		
3	150	581,96	706,96	18,9461	
4	150	581,63	707,12	18,9428	
5	150	581,57	706,89	18,9388	
6	150	581,17	706,73	18,9464	

4.2. Uji Ketidakpastian

Data-data Persamaan

Symbol	Kuantitas	Satuan
KV ₁₂₃ 40	Kin. Viscosity @ 40 °C	cSt
KV ₁₂₃ 100	Kin. Viscosity @ 100 °C	cSt
C ₁₂₃ 40	Konstanta Visc. @ 40 °C	cSt/det
C ₁₂₃ 100 L	Konstanta Visc. L @ 100 °C	cSt/det
C ₁₂₃ 100 U	Konstanta Visc. U @ 100 °C	cSt/det
T ₁₂₃ 40	Waktu alir @ 40 °C	Detik
T ₁₂₃ 100L	Waktu alir Lower @ 40 °C	Detik
T ₁₂₃ 100U	Waktu alir Upper @ 40 °C	Detik

4.3 Perhitungan Ketidakpastian dengan kode sampel 1220

1. Yang berasal dari waktu alir sampel :

- Berdasarkan sertifikat kalibrasi N0. TM. 0216.14, stopwatch mempunyai $\mu = 0,57 / 2 = 0,2850$ detik pada tingkat kepercayaan 95 % evaluasi type-B
- Skala terkecil yang dapat dibaca pada stopwatch ± 0.01 detik
Maka, $\mu(\text{readability}) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0,0058$ detik Evaluasi type-B
- Berdasarkan sertifikat kalibrasi No. 3534, thermometer untuk viscosity bath pada 100 °C, $\mu = 0.10 / 2 = 0.05$

d. Untuk Melihat efek suhu bath terhadap waktu alir (t), dilakukan percobaan 6x dengan data sebagai berikut :

No	Waktu alir, detik	
	98,5 °C	101,5 °C
1	274,1	271,8
2	274,9	271,3
3	274,2	271,6
4	274,9	271,5
5	274,1	271,3
6	274,5	271,6
Jumlah	1646,7	1629,1
Rata-rata	274,45	271,52

$$\text{Efek suhu} = (274,45 - 271,52) / (101,5 - 98,5) = 1,465 \text{ detik/ } ^\circ\text{C}$$

μ (efek suhu) dari Viscosity bath = 1,465 det/ $^\circ\text{C}$ x 0,10 $^\circ\text{C}$ = 0,1465 detik type-A

$$\mu(T) =$$

$$= \sqrt{(0.2850)^2 + 2(0.0058)^2 + (0.05)^2 + (0.1465)^2}$$

$$= 0,3244 \text{ detik}$$

2. Yang berasal dari Presisi Metode.

Dilakukan 6 kali percobaan pada masing-masing sampel dan ada 3 sampel. Data-data sebagai berikut :

Tabel 5. Ketidakpastian yang Berasal dari Presisi Metode dengan Kode Sampel 1220

Kinematic Viscosity pada 40 °C, cSt				Kinematic Viscosity pada 100 °C, cSt		
No.	X ₂	(X ₂ - $\bar{x}$)	(X ₂ - $\bar{x}$) ²	X ₂	(X ₂ - $\bar{x}$)	(X ₂ - $\bar{x}$) ²
1	79,17	0,00833333	0,00006944	10,8261	-0,00143333	0,00000205
2	79,21	0,04833333	0,00233611	10,8291	0,00156667	0,00000245
3	79,07	-0,09166667	0,00840278	10,8263	-0,00123333	0,00000152
4	79,17	0,00833333	0,00006944	10,8288	0,00126667	0,00000160
5	79,18	0,01833333	0,00033611	10,8279	0,00036667	0,00000013
6	79,17	0,00833333	0,00006944	10,8270	-0,00053333	0,00000028
Σ	474,97	-	0,00006944	64,9652	-	0,00000805
$\bar{x}$	79,16166667			10,82753333		
SD	0,00372678			0,00126912		
$\mu(\text{Pre})$	0,00152145			0,00051812		

3. Yang berasal dari Konstanta Viskometer (c).

- 1) Faktor (c
- ₂₄₀
-) yang digunakan pada 40 °C : 0,02387 ± 0,0015

$$\mu(c) = 0,0015 / 3^{1/2} = 0,000866 \text{ cSt/det}$$

- 2) Faktor (c
- ₂₁₀
-) yang digunakan pada 100 °C :

- a. Lower Bulb = 0,01922 ± 0,0019

$$\mu(c) = 0,0019 / 3^{1/2} = 0,001097 \text{ cSt/det}$$

- b. Upper Bulb = 0,01521 ± 0,0019

$$\mu(c) = 0,0019 / 3^{1/2} = 0,001097 \text{ cSt/det}$$

4. Ketidakpastian Kombinasi

Symbol	Kuantitas	Nilai	Satuan	μ_x	μ relative (μ_x/x)	Ranking
T ₂ 40	Waktu Alir @ 40 °C	90,32	detik	0,3244	0,00359	1
C ₂ 40	Faktor visc @ 40 °C	0,876	cSt/detik	0,000866	0,00098	3
Pre	Presisi Metode	1	cSt	0,00152145	0,00152145	2

KV ₂ 40	Kin. Viscosity @ 40 °C	99,81	cSt	(*)	-	-
--------------------	------------------------------	-------	-----	-----	---	---

Symbol	Kuantitas	Nilai	Satuan	μx	μ relative ($\mu x/x$)	Ranking
T ₂ 100 L	Waktu Alir Lower @ 100 °C	564,20	detik	0,3244	0,000516	3
T ₂ 100 U	Waktu Alir Upper @ 100 °C	710,81	detik	0,3244	0,00041	
C ₂ 100 L	Factor Visc @ 40 °C	0,03264	cSt/det	0,001097	0,033608	1
C ₂ 100 U	Factor Visc @ 100 °C	0,02673	cSt/det	0,001097	0,04104	
Pre	Presisi Metode	1	cSt	0,00152145	0,00152145	2
KV ₂ 100	Kin. Viscosity @ 100 °C	12.6234	cSt	(*)	-	-

a) $\mu c(KV)$ pada 40 °C = = 0,0530

$\sqrt{(0,00359)^2 + (0,00098)^2 + (0,00152145)^2}$ Expanded Uncertainty (Ketidakpastian
= 0,0040 diperluas) pada confidence level 95 % :

b) $\mu c(KV)$ pada 100 °C a. U (KV₂₄₀) Pada 40 °C

$\sqrt{(0,000516)^2 + (0,00041)^2 + (0,033608)^2 + (0,04104)^2 + (0,00152145)^2}$ = $\mu c(KV)$ Pada 40 °C x 2

$U (KV_{240}) \text{ Pada } 40^\circ\text{C} = 0,0040 \times 2$
 $= 0,0080 \text{ cSt.}$

b. $U (KV_{2100}) \text{ Pada } 40^\circ\text{C}$

$= \mu C(KV) \text{ Pada } 40^\circ\text{C} \times 2$

$U (KV_{2100}) \text{ Pada } 40^\circ\text{C} = 0,0530 \times 2$
 $= 0,106 \text{ cSt.}$

5. Pernyataan / Laporan :

1. *Kinematic Viscosity* (c_{240}) yang digunakan pada 40°C = $79,16 \pm 0,0080 \text{ cSt.}$

2. *Kinematic Viscosity* (c_{2100}) yang digunakan pada 100°C = $10,8275 \pm 0,106 \text{ cSt.}$

6. Kesimpulan :

a. *Kinematic Viscosity @* 40°C :
 $T > \text{Pre} > C$

b. *Kinematic Viscosity @* 100°C :
 $C > \text{Pre} > T$

4.4 Perhitungan Ketidakpastian dengan kode sampel 1218

1. Yang berasal dari waktu alir sampel :

a. Berdasarkan sertifikat kalibrasi NO. TM. 0216.14, *stopwatch* mempunyai $\mu = 0,57 / 2 = 0,2850$ detik pada tingkat kepercayaan 95 % evaluasi type-B

b. Skala terkecil yang dapat dibaca pada *stopwatch* $\pm 0,01$ detik

Maka, $\mu(\text{readability}) = \frac{0,01}{\sqrt{3}} =$

0.0058 detik

Evaluasi type-B

c. Berdasarkan sertifikat kalibrasi No. 3534, *thermometer* untuk *viscosity bath* pada 100°C , $\mu = 0,10 / 2 = 0,05$

d. Untuk Melihat efek suhu *bath* terhadap waktu alir (t), dilakukan percobaan 6x dengan data sebagai berikut :

No	Waktu alir, detik	
	$98,5^\circ\text{C}$	$101,5^\circ\text{C}$
1	274,1	271,8
2	274,9	271,3
3	274,2	271,6
4	274,9	271,5
5	274,1	271,3
6	274,5	271,6
Jumlah	1646,7	1629,1
Rata-rata	274,45	271,52

Efek suhu = $(274,45 - 271,52) / (101,5 - 98,5) = 1,465 \text{ detik}/^\circ\text{C}$

μ (efek suhu) dari *Viscosity bath* = $1,465 \text{ det}/^\circ\text{C} \times 0,10^\circ\text{C} = 0,1465 \text{ detik type-A}$

$$\mu(T) = \sqrt{(0,2850)^2 + 2(0,0058)^2 + (0,05)^2 + (0,1465)^2}$$

$$= 0,3244 \text{ detik}$$

Tabel 6. Ketidakpastian yang berasal dari Presisi Metode dengan kode sampel 1218

Kinematic Viscosity pada 40 °C, cSt				Kinematic Viscosity pada 100 °C, cSt		
No.	X_3	$(X_3 - \bar{x})$	$(X_3 - \bar{x})^2$	X_3	$(X_3 - \bar{x})$	$(X_3 - \bar{x})^2$
1	146,4	-0,45000000	0,20250000	18,9459	0,00160000	0,00000256
2	146,9	0,05000000	0,00250000	18,9458	0,00150000	0,00000225
3	147,0	0,15000000	0,02250000	18,9461	0,00180000	0,00000324
4	146,9	0,05000000	0,00250000	18,9428	-0,00150000	0,00000225
5	146,9	0,05000000	0,00250000	18,9388	-0,00550000	0,00003025
6	147,0	0,15000000	0,02250000	18,9464	0,00210000	0,00000441
Σ	881,10		0,25500000	113,6658		0,00004496
$\bar{X}$	146,85000000			18,94430000		
SD	0,22583180			0,00299867		
$\mu(\text{Pre})$	0,09219544			0,00122420		

3. Yang berasal dari Konstanta Viskometer (c).

1. Faktor (c_{340}) yang digunakan pada 40 °C : $0,02387 \pm 0,0015$

$$\mu(c) = 0,0015 / 3^{1/2} = 0,000866 \text{ cSt/det}$$

2. Faktor (c_{310}) yang digunakan pada 100 °C :

a. *Lower Bulb* = $0,03264 \pm 0,0015$

$$\mu(c) = 0,0015 / 3^{1/2} = 0,000866 \text{ cSt/det}$$

b. *Upper Bulb* = $0,02673 \pm 0,0015$

$$\mu(c) = 0,0015 / 3^{1/2} = 0,000866 \text{ cSt/det.}$$

4. Ketidakpastian Kombinasi

Symbol	Kuantitas	Nilai	Satuan	μ_x	μ relative (μ_x/x)	Ranking
$T_{3\ 40}$	Waktu Alir @ 40 °C	167,55	detik	0.3244	0,00194	1
$C_3\ 40$	Faktor visc @ 40 °C	0,876	cSt/detik	0,000866	0,00098	3

Pre	Presisi Metode	1	cSt	0,00152145	0,00152145	2
KV ₃ 40	Kin. Viscosity @ 40 °C	146,85	cSt	(*)	-	-

Symbol	Kuantitas	Nilai	Satuan	μx	μ relative (μx/x)	Ranking
T ₃ 100 L	Waktu Alir Lower @ 100 °C	581,72	detik	0,3244	0,00056	3
T ₃ 100 U	Waktu Alir Upper @ 100 °C	707,12	detik	0,3244	0,00046	
C ₃ 100 L	Factor Visc @ 40 °C	0,03264	cSt/det	0,000866	0,02653	1
C ₃ 100 U	Factor Visc @ 100 °C	0,02673	cSt/det	0,000866	0,03239	
Pre	Presisi Metode	1	cSt	0,00152145	0,00152145	2
KV ₃ 100	Kin. Viscosity @ 100 °C	18,9443	cSt	(*)	-	-

a) $\mu_c(KV)$ pada 40 °C = $\sqrt{(0,00194)^2 + (0,00098)^2 + (0,00152145)^2} = 0.0027$

b) $\mu_c(KV)$ pada 100 °C=

$$\sqrt{(0,00056)^2 + (0,00046)^2 + (0,02653)^2 + (0,03239)^2 + (0,00152145)^2}$$

$$= 0,0421$$

Expanded Uncertainty
(Ketidakpastian diperluas) pada
confidence level 95 % :

a. $U (KV_{340})$ Pada $40^{\circ}C$
 $= \mu C(KV) \text{ Pada } 40^{\circ}C \times 2$

$U (KV_{340}) \text{ Pada } 40^{\circ}C =$
 $0.0027 \times 2 = 0,0054 \text{ cSt.}$

b. $U (KV_{3100})$ Pada $100^{\circ}C$
 $= \mu C(KV) \text{ Pada } 100^{\circ}C \times 2$

$U (KV_{3100}) \text{ Pada } 100^{\circ}C =$
 $0.0421 \times 2 = 0,0842 \text{ cSt.}$

5. Pernyataan / Laporan :

1. *Kinematic Viscosity* (c_{340})
yang digunakan pada $40^{\circ}C$
 $= 146,85 \pm 0,0054 \text{ cSt.}$
2. *Kinematic Viscosity* (c_{3100})
yang digunakan pada $100^{\circ}C$ =
 $18,9443 \pm 0,0842 \text{ cSt.}$

6. Kesimpulan :

- a. *Kinematic Viscosity @* $40^{\circ}C$
: $T > \text{Pre} > C$
- b. *Kinematic Viscosity @* $100^{\circ}C$
: $C > \text{Pre} > T$

4.3. Pembahasan

4.3.1. Sampel Pelumas Dengan Kode Sampel 1220

Dari tabel hasil pengujian viskositas kinematik pada temperatur $100^{\circ}C$ dapat dilihat waktu yang

dibutuhkan sampel untuk mengalir di *upper bulb* akan selalu lebih besar dari pada waktu yang dibutuhkan sampel mengalir di *lower bulb*, hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh gaya tarik gravitasi bumi. Setelah mendapatkan waktu alir sampel dari pengujian yang dilakukan hitung nilai viskositas kinematik masing-masing *bulb* dengan mengalikan waktu alir yang didapat dengan konstanta dari *bulb* yang didapatkan dari hasil kalibrasi alat, sehingga nilai *kinematic viscosity* yang didapat benar nilai sesungguhnya. Setelah nilai viskositas kinematik masing-masing *bulb* (*lower bulb* dan *upper bulb*) didapat barulah kita hitung nilai viskositas kinematik total dengan menghitung rata-rata dari *lower bulb* dan *upper bulb* yaitu dengan rumus persamaan 3.1 pada bab III. Setelah itu barulah didapat nilai viskositas kinematik yang sebenarnya. Nilai inilah yang nantinya akan dilaporkan. Dari nilai viskositas kinematik yang diperoleh, kita dapat menghitung nilai estimasi ketidakpastiannya dari viskositas kinematik tersebut.

Sampel Pelumas dengan kode sampel 1220 dapat dikatakan pelumas yang mempunyai tingkat kekentalan 10W-30. Nilai VK dari sampel 1220 pada suhu 40 °C dan 100 °C adalah 79,16 cSt dan 10,8275 cSt. Setelah dilakukan sebanyak enam kali pengujian maka diperoleh nilai dari viskositas kinematik pada kode sampel 1220 pada suhu 40 °C dengan VK 79,16 cSt memiliki nilai ketidakpastian $\pm 0,0080$ cSt. nilai ketidakpastian dari viskositas kinematik pada kode sampel 1220 pada suhu 100 °C dengan VK 10,8275 cSt memiliki nilai ketidakpastian $\pm 0,106$ cSt.. Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa nilai viskositas kinematik dengan kode sampel 1220 pada suhu 40 °C tersebut mempunyai rentang nilai benar antara 79,152 cSt – 79,168cSt. Dengan nilai ketidakpastian $\pm 0,0080$ cSt maka hasil analisa tersebut masih dapat diterima. Nilai viskositas kinematik dengan kode sampel 1220 pada suhu 100 °C tersebut mempunyai rentang nilai benar antara 10,7215 cSt – 10,9335 cSt. Dengan nilai ketidakpastian $\pm 0,106$ cSt maka hasil analisa tersebut masih dapat

diterima. Dan berdasarkan hasil perhitungan dari estimasi ketidakpastian pada sampel pelumas dengan kode sampel 1220 mempunyai faktor yang mempengaruhi hasil dari pengukuran viskositas kinematik yang sama yaitu *viscometer tube*, *stopwath* dan presisi metode .

4.3.2. Sampel Pelumas Dengan Kode Sampel 1218

.Dari tabel hasil pengujian viskositas kinematik pada temperatur 100 °C dapat dilihat waktu yang dibutuhkan sampel untuk mengalir di *upper bulb* akan selalu lebih besar dari pada waktu yang dibutuhkan sampel mengalir di *lower bulb*, hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh gaya tarik gravitasi bumi. Setelah mendapatkan waktu alir sampel dari pengujian yang dilakukan hitung nilai viskositas kinematik masing-masing *bulb* dengan mengalikan waktu alir yang didapat dengan konstanta dari *bulb* yang didapatkan dari hasil kalibrasi alat, sehingga nilai *kinematic viscosity* yang didapat benar nilai sesungguhnya. Setelah nilai viskositas kinematik masing-masing *bulb* (*lower bulb* dan

upper bulb) didapat barulah kita hitung nilai viskositas kinematik total dengan menghitung rata-rata dari *lower bulb* dan *upper bulb* yaitu dengan rumus persamaan. Setelah itu barulah didapat nilai viskositas kinematik yang sebenarnya. Nilai inilah yang nantinya akan dilaporkan. Dari nilai viskositas kinematik yang diperoleh, kita dapat menghitung nilai estimasi ketidakpastiannya dari viskositas kinematik tersebut.

Sampel Pelumas dengan kode sampel 1218 dapat dikatakan pelumas yang mempunyai tingkat kekentalan 10W-30. Nilai VK dari sampel 1218 pada suhu 40 °C dan 100 °C adalah 146,85 cSt dan 18,9443 cSt. Setelah dilakukan sebanyak enam kali pengujian maka diperoleh nilai dari viskositas kinematik pada kode sampel 1218 pada suhu 40 °C dengan VK 146,85 cSt memiliki nilai ketidakpastian $\pm 0,0068$ cSt. nilai ketidakpastian dari viskositas kinematik pada kode sampel 1218 pada suhu 100 °C dengan VK 18,9443 cSt memiliki nilai ketidakpastian $\pm 0,0838$ cSt.. Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa nilai viskositas

kinematik dengan kode sampel 1218 pada suhu 40 °C tersebut mempunyai rentang nilai benar antara 146,8446 cSt – 146,8554 cSt. Dengan nilai ketidakpastian $\pm 0,0054$ cSt maka hasil analisa tersebut masih dapat diterima. Nilai viskositas kinematik dengan kode sampel 1218 pada suhu 100 °C tersebut mempunyai rentang nilai benar antara 18,8601S cSt – 19,0285 cSt. Dengan nilai ketidakpastian $\pm 0,0842$ cSt maka hasil analisa tersebut masih dapat diterima. Dan berdasarkan hasil perhitungan dari estimasi ketidakpastian pada sampel pelumas dengan kode sampel 1218 mempunyai faktor yang mempengaruhi hasil dari pengukuran viskositas kinematik yang sama yaitu *viscometer tube*, *stopwath* dan presisi metode.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Proses pengujian pada pengujian viskositas kinematik didalam minyak pelumas pada suhu 40 °C sama halnya dengan suhu 100 °C hanya saja yang membedakan pada penggunaan alat *viscometer tube* dengan hasil yang didapat . Nilai yang didapat pada temperatur 40 °C lebih

besar dari pada nilai yang didapat pada temperatur 100 °C.

2. Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai dari hasil uji viskositas kinematik yaitu *Tube Viscometer*, *Stopwatch*, *Thermometer* dan *Analisis*.
3. Rentang nilai benar yang didapat dari setiap pengukuran pada sampel minyak pelumas yaitu :
 - a. *Kinematic viscosity* dengan kode 1220 pada 40 °C = 79,152 cSt – 79,168 cSt
 - b. *Kinematic viscosity* dengan kode 1220 pada 100 °C = 10,7215 cSt – 10,9335 cSt
 - c. *Kinematic viscosity* dengan kode 1218 pada 40 °C = 146,8446 – 146,8554 cSt
 - d. *Kinematic viscosity* dengan kode 1218 pada 100 °C = 18,8601 – 19,0285 cSt

DAFTAR PUSTAKA

Adhim, Muhammad. 2016. *Pengukuran Dan Perhitungan Viskositas Kinematik Dan Viskositas Indeks Pada Pelumas Berdasarkan Standar ASTM D 445 – 06 Dan ASTM D 2270 – 04*. Politeknik Akamigas : Palembang : (Tugas Akhir Tidak Diterbitkan).

American Society for testing and materials D-445.2012. *Standard Test Methode for Kinematic Viscosity of Petroleum Product*. Philadelphia : ASTM Internasional.

Ardiansa, Ledi. 2016. *Estimasi Ketidakpastian Penentuan Konektivitas Gas Dengan Metode GPA 2261 Menggunakan Kromatografi Gas Agilent Technologies 7890A GC System Di Laboratorium Pengujian Job Pertamina – Talisman Jambi Merang*. Politeknik Akamigas : Palembang : (Tugas Akhir Tidak Diterbitkan).

Fatoni, Zainuddin. 2014. *Diktat Ketidakpastian Pengukuran (Measurement Uncertainty)*. Politeknik Akamigas : Palembang.