

# APPLICATION OF PIEZOELECTRIC MATERIAL FILM PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*) AS LIQUID VISCOSITY SENSOR

Hananto F.S<sup>1</sup>., Santoso D.R.<sup>2</sup>, Julius<sup>3</sup>

**Abstract:** The use of piezoelectric materials in sensors and transducers are growing rapidly. This material can be applied in many ways. One of Piezoelectric material founded in market was sheet-shaped called PVDF film. PVDF film applications in sensors allow the use in many application. In this study, PVDF film is used as the liquid viscosity sensor using the principle of concentric cylinders. This research aims to design a sensor with a mechanical sensor that can be used for viscosity. In this study, the mechanical and electrical parts of the sensor was designed so that it can be used as a viscosity sensor. The design begins with designing the mechanical sensor consisting of a cylinder with diameter of 3 cm which at the upper end of the shaft mounted a circular plate as a place to attach the PVDF film sensor. This cylinder will be immersed in the outer cylinder of 5 cm in diameter filled with test fluid. This outer tube is rotated so that the liquid then follow to spin, the test fluid spin will be rubbing against the cylinder resulting a force and torque on the cylinder. This force will be forwarded to the shaft and up to the plate that has been attached PVDF film. Due to this force, the PVDF electrode charge will arise. This charge by a charge amplifier is converted into a voltage proportional to the force felt by the inner cylinder. Viscosity will affect the force that drive PVDF film so that by measuring the output voltage will obtain the viscosity of the test fluid.

Research was done by taking 10 samples of oil and 3 different size of PVDF film and a strain gage, that are: 1 cm x 3 cm (PVDF1); 1 cm x 2 cm (PVDF2); 1 cm x 1 cm (PVDF3). Results showed that the resolution of PVDF1, PVDF2 and PVDF3 are 4.6 mv/cPois; 3.1 mv/cPois and 1.5 mv/cPois respectively, while the strain gage produce a resolution of 1.2 mv/cPois. The average resolution of PVDF is  $1.53 \text{ mv.cPois}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ , which means that every  $1 \text{ cm}^2$  PVDF film area and the increase of 1 cPois of viscosity of the material will produce 1.53 millivolts.

Keywords: piezoelectric, film PVDF, viscosity

## PENDAHULUAN

Viskositas adalah sifat yang penting dari sebuah zat cair. Sistem fisis dan berbagai macam aplikasi dalam aliran dalam pipa, aliran darah, pelumasan komponen-komponen mesin, dinamika curah hujan, lelehan lava gunung berapi, pembentukan medan magnet dalam planet dan bintang, segala macam aliran zat cair dikontrol oleh tingkat viskositas dari cairan tersebut. Viskositas didefinisikan sebagai gesekan internal dari cairan. Sifat mikroskopis dari gesekan internal dalam cairan adalah analog dengan konsep makroskopis mekanika gesekan dalam sistem obyek bergerak pada suatu permukaan yang diam. Energi harus diberikan untuk menghasilkan pergeseran diantara dua benda yang saling menempel yang disebabkan oleh ketidakhalusan permukaan, energi ini juga digunakan untuk mengawali dan menjaga gerakan obyek pada permukaan itu.

Pengukuran viskositas dilakukan dengan banyak cara, diantaranya adalah metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar dan metode kapilaritas. Semua metode diatas menggunakan sistem mekanik dan pembacaannya

<sup>1</sup>Student of post graduated of Engineering Faculty Brawijaya University

<sup>2 and 3</sup> Lecturer of Engineering Faculty Brawijaya University

simpangan juga dalam bentuk mekanik atau analog. Pembacaan analog ini sudah mulai ditinggalkan dan digantikan dengan pembacaan secara digital. Untuk pembacaan digital akan lebih mudah dilakukan apabila besaran sudah berupa besaran listrik. Untuk pengubahan energi mekanik ini menjadi besaran listrik digunakan sensor. Salah satu jenis sensor yang berfungsi mengubah besaran mekanik menjadi besaran listrik adalah sensor piezoelektrik. Bahan piezoelektrik yang ada dipasaran diantaranya adalah berupa lembaran tipis yang disebut film PVDF (*Polyvinylidene Flouride*).

Material piezoelektrik adalah material yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik (*direct piezoelectric*) atau dari energi listrik menjadi energi mekanik (*inverse piezoelectric*). Penggunaan material jenis ini telah berkembang amat luas terutama dalam bidang teknologi sensor dan aktuator. Dalam penerapannya untuk sensor, material piezoelektrik banyak digunakan dalam aplikasi pengukuran beban dinamis (*dynamic loads*), seperti pengukuran beban yang berfluktuasi, getaran, atau beban tumbukan (*impact loads*). Pengukuran beban dinamis ini banyak ditemui dalam bidang rekayasa mekanikal, rekayasa struktur, rekayasa medis, sports engineering dan welfare engineering. Dalam bidangbidang rekayasa ini dibutuhkan material sensor yang bersifat ringan, fleksibel, *yields strain* yang cukup tinggi, cukup kuat menahan tumbukan yang keras serta mudah dalam hal penanganannya (Prananto, 2009).

Material piezoelektrik yang umum dan banyak digunakan saat ini adalah material berbasis keramik seperti lead zirconium titanate ( $\text{PbZrTiO}_3$ ) yang secara komersial dikenal dengan nama PZT dan barium titanate ( $\text{BaTiO}_3$ ). Material-material berbasis keramik ini memiliki beberapa kelemahan yaitu sifatnya yang getas (*brittle*), *yield strain* yang rendah, cukup berat karena densitas keramik yang tinggi dan memakan biaya yang tinggi dalam pembuatannya (Thompson, M, 2002). Kelemahan-kelemahan ini tentu akan membatasi penggunaan material berbasis keramik ini dalam penerapannya, khususnya untuk pengukuran dinamis. Kelemahan-kelemahan ini dapat teratasi dengan penggunaan material sensor berbasis polimer, Polyvinylidene Flouride (PVDF) merupakan salah satu jenis smart material berbasis polimer yang memiliki kemampuan dalam piezoelektrik.

Penelitian tentang penggunaan Film PVDF untuk sensor beban dinamis telah dilakukan oleh Taufiq Arif Setyanto. Dalam penelitian tersebut dilakukan perancangan sensor mekanik dan sensor untuk pengukuran deformasi yang luas (*large deformation measurement*) yang dihasilkan oleh gaya tarikan dan kenduran (*loosening force*) dengan elemen pengindra (*sensing element*) menggunakan PVDF untuk berbagai aplikasi pengukuran mekanik seperti *impact force sensor* (2007), *shoe insole sensor* (2006) dan *elastic band sensor* (2005) (Prananto, 2009).

Vinogradov dan Holloway memperkenalkan pengukuran listrik untuk menentukan koefisien piezoelektrik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk mengukur tegangan PVDF dan sudut fase relatif terhadap strain yang diberikan pada temperatur dan frekuensi tertentu.

Penelitian-penelitian tersebut belum mengaplikasikan PVDF sebagai sensor besaran tertentu. Penerapan PVDF perlu dikaji untuk menguji sejauh mana keandalannya. Karakterisasi material PVDF terutama dalam hal pengaruh luas penampang PVDF terhadap tanggapan yang dihasilkan PVDF terhadap berbagai perlakuan-perlakuan yang diterapkan padanya perlu dilakukan. Karakterisasi material diperlukan untuk dapat memahami dan mengoptimalkan kinerja sensor yang dirancang agar sesuai dengan kebutuhan penerapan dan lingkungan tempat sensor diterapkan. Hasil dari karakterisasi tersebut diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan bagi perancang/designer dalam perancangan transduser piezoelectric yang dapat digunakan untuk berbagai jenis aplikasi pengukuran sesuai kebutuhan.

Film PVDF adalah materi yang murah, ringan, fleksibel, mempunyai range frekuensi yang lebar, dan sangat sensitif. Film PVDF dapat secara langsung ditempel pada bahan uji tanpa mengganggu secara mekanis terhadap bahan yang ditemplei atau dimasuki (Santoso, 2005)

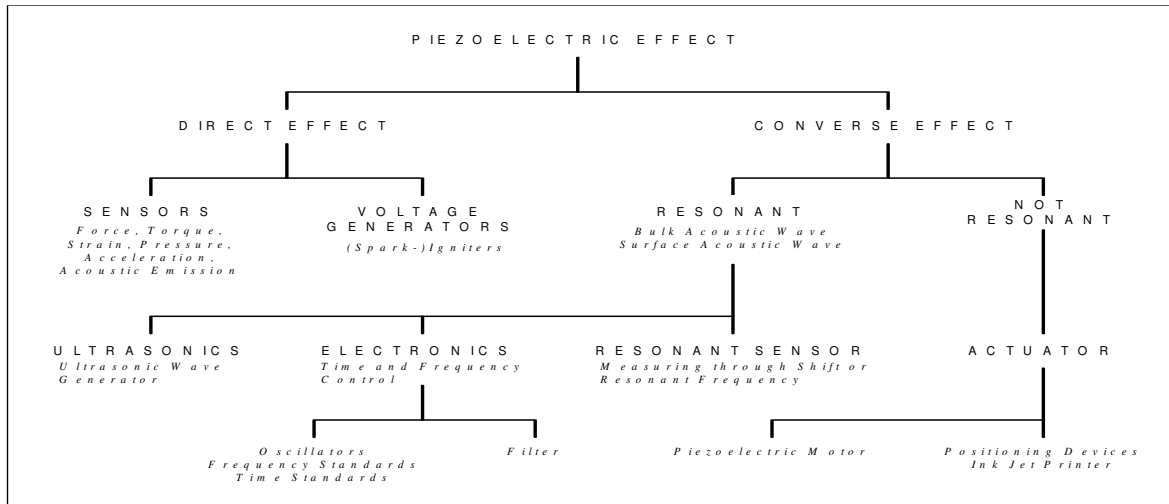
Dalam penelitian ini film PVDF akan digunakan sebagai sensor untuk mengubah besaran fisis menjadi tegangan yang ekuivalen dengan nilai viskositas zat cair.

## **KAJIAN TEORI**

Ditemukannya sifat piezo-elektrik banyak peneliti yang menggali keberadaan sifat ini dalam berbagai bahan. Dua diantara bahan yang paling banyak digunakan adalah bahan dari keramik PZT (Publum Zirconat Titanate) dan polimer PVDF (Polivinylidene Flouride). Keramik piezoelektrik biasanya diproduksi dalam lembaran tipis dengan lapisan logam pada sisi yang berlawanan sebagai elektrodanya. Piezoelektrik keramik sifatnya kaku dan keras, sedangkan polimer piezoelektrik sifatnya lentur. Dalam beberapa pemakaian polimer mempunyai kelebihan karena bentuknya yang kecil dan kuat serta fleksibel. Sedangkan yang jenis keramik lebih banyak digunakan dalam aktuator karena sifat kekakuannya dapat menghantarkan sifat mekanik yang lebih baik (Arnau, 2008).

*Direct piezoelectric effect* muncul ketika terjadi deformasi mekanik dari bahan piezoelektrik akan menghasilkan polarisasi muatan yang proporsional terhadap deformasi yang terjadi. *Converse piezoelectric effect* terjadi ketika tekanan mekanik proporsional terhadap medan listrik yang bekerja pada bahan menginduksi bahan piezoelektrik. Pasangan sifat mekanik dan elektrik dari bahan piezoelektrik ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan sebagai sensor ataupun aktuator. Sebagai sensor, deformasi dinamik menyebabkan bahan menghasilkan arus listrik, sedangkan sebagai aktuator perubahan arus listrik akan menyebabkan deformasi dan menghantarkan energi mekanik pada benda yang lain. Gambar 2.1 Menunjukkan efek piezoelektrik dan penerapannya. (Arnau, 2008)

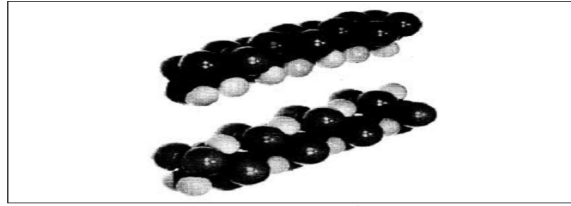
**Polimer Piezoelektrik**



Gambar 2.1 Efek piezoelektrik dan aplikasinya

Efek piezoelektrik yang sangat lemah mula-mula dilaporkan terjadi dalam jaringan organik dan bahan organik lain sejak 1950 dan sampai tahun 1969 belum ditemukan sifat ini dalam polimer non organik. Ketika sedang melakukan penelitian pada sifat listrik dari berbagai polimer sintesis, Kawai menemukan polarisasi muatan pada polivinilidid. Penelitian berikutnya kemudian meneliti tentang pizeoelektrik, feroelektrik, dielektrik, piroelektrik, elektrokalorik, fotovoltaiik, fotoelastik, dan sifat optis dari PVDF. Para peneliti melaporkan adanya sifat piezoelektrik pada sejumlah polimer termasuk polivinilidid cyanide dan ko-polimernya; poliurea aromatik dan aliphatik; polivinil chloride; poliamide aromatik; PVDF ko-polimer dengan trifloropropelene (P[VDF=TrFE]), tetraflouroethylene (P[VDF-TFE]), dan heksaflouro propelene (P[VDF-HFP]); campuran PVDF dengan polimetil metakrilat (PMMA); poli vinil flouride; poli vinil asetat; dan polimer-polimer kristal cair ferroelektrik. Lang mempublikasikan sejumlah tulisan tentang piezoelektrisitas dan pyroelektrisitas polimer.

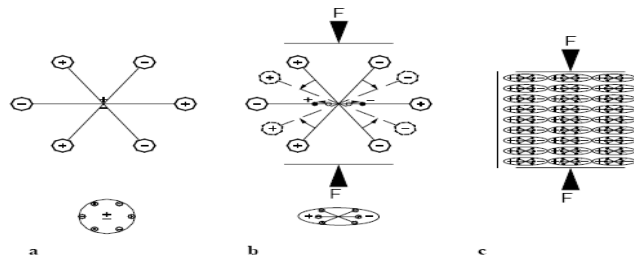
Plivinilidene flouride, atau PVDF mempunyai komposisi kimia CH<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub> atau biasa juga disebut sebagai 1,1 diflouro-etilene. Ini adalah sebuah polimer semi kristalin dengan fraksi volume kristal sekitar 50% setelah pelarutan. Stuktur kristal setelah proses pelarutan secara klasik bersifat sperulitik, dan dalam konfigurasi rantai (TTTT). Gambar 2.2 menunjukkan model dari fase α dan β.



Gambar 2.2. Model space filling untuk bentuk kristal polar  $\beta$  (atas) dan non polar  $\alpha$  (bawah). Hitam = F, putih = H

### *Tranduser Piezoelektrik*

Kata piezoelektrik berasal dari bahasa Yunani yang berarti “listrik oleh tekanan” (piezo = tekanan). Nama ini diberikan oleh Hankel pada tahun 1881 untuk fenomena yang ditemukan oleh Pierre and Jacques Curie setahun sebelumnya. Kedua ilmuwan ini mengamati bahwa terjadi pengumpulan muatan pada permukaan sebuah kristal.



Gambar 2.3 Model molekuler sederhana untuk menjelaskan efek piezoelektrik: (a) molekul tidak terganggu; (b) molekul yang mengalami gaya eksternal; (c) efek polarisasi permukaan bahan.

Gambar 2.3 menunjukkan sebuah model molekuler sederhana yang menjelaskan dihasilkannya muatan listrik sebagai akibat gaya yang diberikan pada sebuah bahan. Sebelum diberikan tekanan (gaya luar), susunan muatan-muatan negatif dan positif tersusun teratur. Akibat adanya tekanan muatan-muatan negatif dan positif akan mengumpul pada permukaan yang berlawanan yang berarti juga terjadi polarisasi di dalam bahan akibat mengumpulnya muatan-muatan pada arah yang berbeda. Pengumpulan muatan pada tempat yang berbeda ini akan menghasilkan beda potensial diantara dua tempat pengumpulan muatan tersebut. Tempat pengumpulan muatan tersebut adalah tidak lain pada permukaan bahan itu sendiri (Santoso, 2005).

### *Piezoelektrisitas Film PVDF*

Film PVDF adalah salah satu materi piezoelektrik yang umum digunakan dalam pembuatan sensor. Efek piezoelektrik adalah efek dimana suatu bahan akan mengalami deformasi fisik atau mekanik bila terkena arus listrik dan sebaliknya akan menghasilkan listrik apabila terjadi deformasi fisik. Hal ini terjadi akibat perubahan jarak antara muatan positif dan negatif dalam molekul saat terkena deformasi sehingga menyebabkan perubahan orientasi muatan atau yang lazim disebut polarisasi sehingga

menimbulkan konsentrasi muatan listrik pada masing-masing permukaannya. Besarnya konsentrasi muatan listrik yang terbentuk ini dapat dinyatakan dalam dua mode persamaan, yaitu charge mode dan voltage mode (Santoso, 2006).

Untuk charge mode berlaku persamaan:

$$Q = d_{3i} \sigma_i A \quad \{i = 1,2 \text{ atau } 3\} \quad (2.1)$$

dimana:

- Q = Muatan yang dihasilkan
- $d_{3i}$  = Konstanta film PVDF
- $\sigma_i$  = tekanan relevan (1, 2 atau 3)

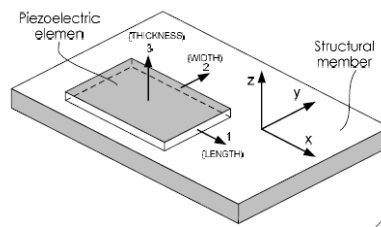
Untuk voltage mode berlaku persamaan:

$$V_o = g_{3i} \sigma_i t \quad (2.2)$$

dimana:

- $V_o$  = tegangan open loop
- $g_{3i}$  = konstanta film PVDF
- $\sigma_i$  = tekanan relevan (1, 2, atau 3)
- t = tebal film PVDF

Gambar 2.5 menunjukkan sumbu-sumbu elemen piezoelektrik dan cara merekatkan pada struktur.



Gambar 2. 4 Sumbu-sumbu dalam film PVDF

**Viskositas Zat Cair**

Viskositas merupakan gaya gesekan antara molekul-molekul yang menyusun suatu fluida, dalam hal ini zat cair dan zat gas. Atau viskositas adalah gaya gesekan internal fluida. Molekul-molekul yang membentuk suatu fluida saling bergesekan ketika fluida tersebut mengalir. Pada zat cair, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Sedangkan dalam zat gas, viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul.

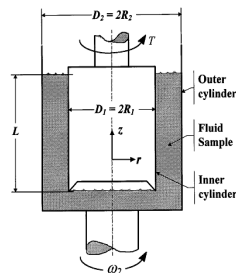
Fluida yang lebih cair biasanya lebih mudah mengalir, contohnya air. Sebaliknya, fluida yang lebih kental lebih sulit mengalir, contohnya minyak goreng, oli, madu dan lain-lain. Hal ini dapat buktikan dengan menuangkan air dan minyak goreng di atas lantai yang permukaannya miring. Pasti air mengalir lebih cepat daripada minyak goreng atau oli. Tingkat kekentalan suatu fluida juga bergantung pada suhu. Semakin tinggi suhu zat cair, semakin kurang kental zat cair tersebut. Minyak goreng yang digunakan untuk menggoreng pada awalnya lebih kental setelah mengalami pemanasan menjadi lebih cair.

### ***Pengukuran Viskositas Metode Silinder Konsentris***

Instrumen untuk pengukuran viskositas didesain untuk menentukan resistansi fluida untuk mengalir. Mengingat viskositas ini merupakan salah satu parameter mekanik penting, maka alat ukurnya akan sangat berguna. Aliran fluida dapat dimodifikasi dengan membuat dua pelat yang dipisahkan oleh fluida kemudian salah satu pelat dikenakan gaya, atau permukaan itu dapat berupa silinder. Dapat juga dengan menjatuhkan benda di dalam fluida, mengalirkan fluida ke dalam tabung kapiler. Resistansi untuk mengalir diukur sebagai gaya atau torsi atau penurunan tekanan.

Keuntungan utama dari prinsip pengukuran viskositas ini dibanding yang lain adalah kemampuannya untuk beroperasi secara kontinyu. Dengan demikian pengukuran dapat dilakukan terus-menerus pada temperatur yang diubah-ubah. Inilah sebab metode ini sering digunakan dalam pengukuran viskositas.

Silinder konsentris biasanya digunakan untuk pengukuran viskositas absolute dimana harus diketahui dengan baik gaya shear dan tekanan. Viskometer rotasi silinder sesumbu (concentric cylinder) dibuat berdasarkan 2 standar, sistem Searle dimana silinder bagian dalam berputar dengan silinder bagian luar diam dan sistem Couette dimana bagian luar silinder yang diputar sedangkan bagian dalam silinder diam. Fluida yang akan diukur ditempatkan pada celah diantara kedua silinder. Persamaan matematis untuk menghitung viskositas diturunkan dari hukum newton tentang aliran viskos.



Gambar 2.5. Skema metode silinder konsentris

Viskometer silinder konsentris ditunjukkan dalam Gambar 2.7 terdiri dari dua silinder satu sumbu dengan fluida diantara keduanya. Silinder bagian luar diputar dan torsi diukur pada silinder bagian dalam.

Jika:  $r_i$ = jari-jari silinder dalam;  $r_o$ = jari-jari silinder luar;  $L$ = panjang silinder;  $C$ = radial clearance;  $\omega$ = kecepatan sudut putaran maka berdasar hukum newton dapat dituliskan:

$$F = \eta A \frac{u}{C} \quad 2.3$$

Dimana  $A$  adalah luas area ( $2\pi r_o L$ )

$u$  = kecepatan linier ( $r_o \cdot \omega$ )

$$F = \eta(2\pi r_o L) \frac{r_o \omega}{C} \quad 2.4$$

Sehingga torsi ( $T$ ) pada silinder dalam adalah

$$T = F \cdot r_i = \frac{2\pi\eta r_o^2 r_i L \omega}{C} \quad 2.5$$

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pada bulan Pebruari – September 2010.

### Alat dan Bahan

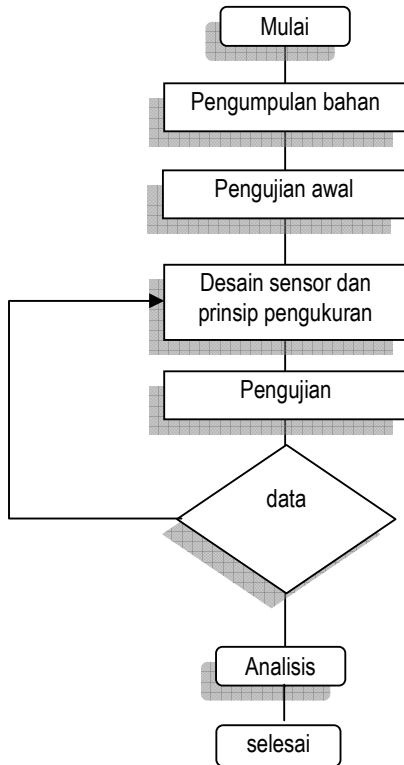
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Viskometer Brookfield
- Motor
- Bahan piezoelektrik film PFDV
- Strain gage
- Gelas kimia ukuran 100 ml
- Osiloskop
- Kabel penghubung
- Rangkaian Charge Amplifier
- Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan oli dengan kekentalan yang berbeda-beda

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan ditunjukkan dalam Gambar 3.1.

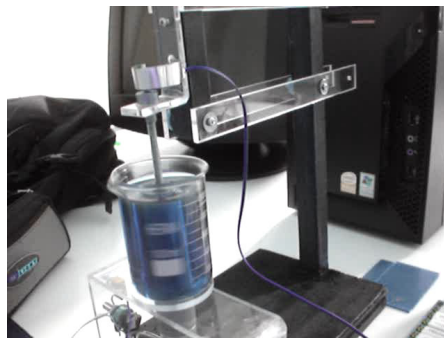




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### Susunan Alat

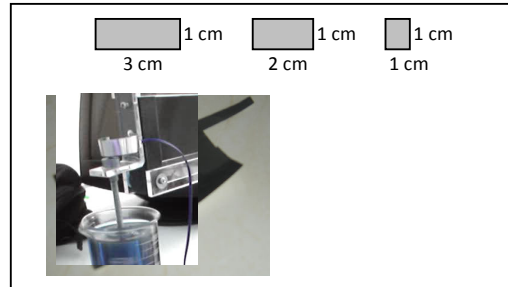
Prinsip kerja dari alat yang dirancang adalah sebagai berikut: motor memutar tabung tempat cairan uji sehingga cairan ikut berputar dengan kecepatan yang dijaga konstan. Putaran fluida akan memberikan gaya pada pelat sehingga terjadi deformasi pada pelat. Film PVDF yang ditempelkan pada pelat akan mengubah gaya ini menjadi muatan listrik yang oleh charge amplifier akan diubah menjadi tegangan sehingga dapat dideteksi oleh osiloskop atau multimeter.



Gambar3.2 Foto susunan alat yang digunakan

Diameter silinder yang digunakan adalah 3 cm sedangkan diameter tabung luar adalah 5 cm. kecepatan putaran 4 putaran per detik. Besarnya gaya yang diterima oleh bahan piezoelektrik dipengaruhi salah satunya oleh viskositas dari fluida. Gambar 3.2 menunjukkan susunan alat dalam penelitian.

Digunakan tiga luasan film PVDF dalam penelitian ini. PVDF1 1cm×3cm; PVDF2 1cm×2cm; PVDF3 1cm×1cm; dan sebuah strin gage. Gambar 3.3 menunjukkan dimensi film PVDF yang digunakan sgb sensor.



Gambar 3.3 Dimensi film PVDF

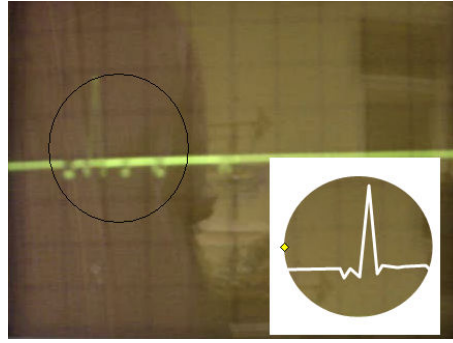
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan ditunjukkan data-data hasil pengujian tiap-tiap bagian dari rancangan alat yang digunakan dalam penelitian ini. Diantaranya pengujian sensor, pengujian *charge amplifier* dan pengujian rangkaian keseluruhan.



Gambar 4.1 Sensor film PVDF

Pengujian ini dilakukan menggunakan osiloskop untuk melihat keluaran yang dihasilkan dari rangkaian *charge amplifier*. Gambar 4.2 menunjukkan gambar hasil pengujian yang ditunjukkan oleh osiloskop.



Gambar 4.2. Sinyal keluaran charge amplifier

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sepuluh sampel oli dengan viskositas yang bervariasi kemudian digunakan untuk menguji sensor yang telah dibuat. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 5.3.

Tabel 5.1. Hasil pengujian PVDF dan Strain Gage

Kode	S:O	Visko (cPois)	Tegangan keluaran (volt)			
			PVDF1	PVDF2	PVDF3	SG
SO0	10:00	3	0,09	0,06	0,03	0,12
SO1	9:01	4	0,10	0,07	0,04	0,12
SO2	8:02	6	0,11	0,07	0,04	0,12
SO3	7:03	17	0,13	0,09	0,04	0,13
SO4	6:04	30,2	0,18	0,09	0,08	0,14
SO5	5:05	52	0,30	0,19	0,12	0,15
SO6	4:06	76	0,40	0,30	0,13	0,18
SO7	3:07	110	0,65	0,43	0,22	0,21
SO8	2:08	176	0,90	0,63	0,30	0,30
SO9	1:09	255	1,20	0,78	0,40	0,45

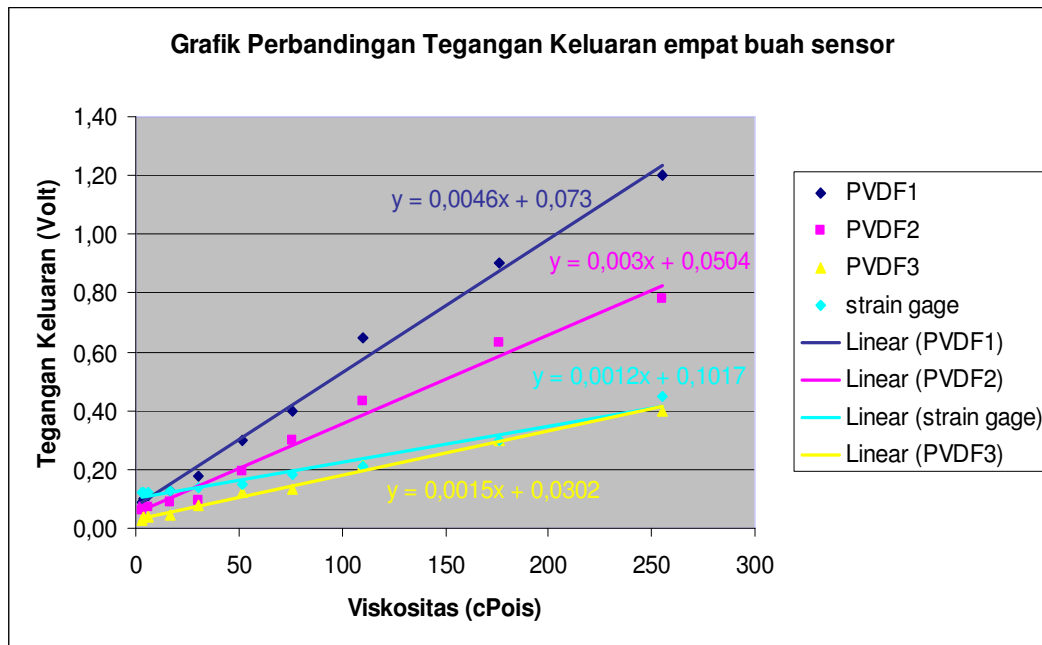
Dengan melakukan regresi pada masing-masing grafik tegangan keluaran didapatkan persamaan regresi PVDF1; PVDF2; PVDF3; strain gage berturut-turut  $Y = 0,0046 X + 0,073$ ;  $Y = 0,0031 X + 0,0504$ ;  $Y = 0,0015 X + 0,0302$ ; dan  $Y = 0,0012 X + 0,1017$ . Hal ini menunjukkan bahwa resolusi yang dihasilkan oleh sensor PVDF1, PVDF 2 dan PVDF3 berturut-turut adalah 4,6 mv/cPois; 3,0 mv/cPois dan 1,5 mv/cPois. Sedangkan strain gage adalah 1,2 mv/cPois.

Grafik 5.5 menunjukkan perbandingan keluaran 3 sensor dengan luasannya berbeda dan sebuah strain gage. Terlihat bahwa PVDF 1 mempunyai keluaran paling tinggi sedangkan PVDF 2 lebih rendah dan PVDF 3 lebih rendah lagi. Hal ini sesuai dengan

teori bahwa luasan mempunyai peran terhadap keluaran tegangan yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Bila dibuat perbandingan maka luasan PVDF1:PVDF2:PVDF3 adalah 3 : 2 : 1 sedangkan resolusinya berturut-turut adalah 4,6 : 3,1 : 1,5. Resolusi rata-rata =  $\frac{4,6/3 + 3,1/2 + 1,5}{3} = \frac{4,58}{3} = 1,53$

Sehingga rata-rata resolusi dari film PVDF yang digunakan adalah 1,53 dengan satuan  $\frac{mv}{cPois.cm^2}$ , yang artinya adalah setiap 1 cm<sup>2</sup> film PVDF dan kenaikan 1 cmPois viskositas bahan akan menghasilkan 1 milivolt sedangkan strain gage 1,2mv/cPois.

Dari grafik juga terlihat bahwa pada viskositas 0 nilai tegangan tidak bernilai nol. Hal ini disebabkan oleh adanya offset tegangan dimana saat tidak ada sinyal pun pada output penguat masih terdapat tegangan. Pada luasan PVDF yang berbeda dan jenis sensor yang berbeda memberikan tegangan ofset yang berbeda. Ini disebabkan karena perbedaan impedansi sensor itu sendiri. Untuk PVDF1, PVDF2, PVDF3, dan strain gage tegangan offset berturut-turut adalah 73 mv, 50,4 mv, 30,2 mv dan 101,7mv.



Gambar 5.5 Grafik tegangan keluaran 4 sensor terhadap viskositas

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Rancangan sensor dalam penelitian dapat digunakan untuk melakukan pengukuran viskositas, walaupun tanggapan bukan berupa garis lurus.
2. Resolusi yang dihasilkan oleh sensor PVDF1, PVDF 2 dan PVDF3 berturut-turut adalah 4,6 mv/cPois; 3,0 mv/cPois dan 1,5 mv/cPois, sedangkan strain gage 1,2 mv/cPois.

3. Semakin besar luasan piezoelektrik yang digunakan tegangan keluaran makin besar yang artinya juga semakin sensitif.
4. Dari data didapatkan bahwa resolusi/sensitivitas PVDF lebih baik dibanding strain gage.

## DAFTAR PUSTAKA

Arnau, A, 2008. *Piezoelectric Transducers and Applications Second Edition*, Springer, Spain.

Alexander Y.A, 1994. *Rheology Fundamentals*, Chemtech Publishing, Canada.

Barnes H.A., 1993. *An Introduction to Rheology*, Elsevier, Amsterdam

Berlincourt, 1971, D. *Piezoelectric Crystal and Ceramic*, In *Ultrasonic Transducer Material*, Edit by O. Mattiat, Plenum Press, New York – London.

David B., 1994, *Rheology Modifier Handbook Practical Use and Applications*, William Andrew Publishing, New York.

Ferry JD., 1980, *Viscoelastic Properties of Polimers*, John Willey and Sons.

Giancoli, D. C., 2001, *Fisika Jilid I* (terjemahan), Jakarta: Penerbit Erlangga

Halliday dan Resnick, 1991, *Fisika Jilid I*, Terjemahan, Jakarta: Penerbit Erlangga

Ikeda T., 1996, *Fundamentals of Piezoelectricity*, Oxford Science Publication Inc. Milwaukee, WI.

Prananto, Dwi, 2009. *Karakterisasi Smart Material Polyvinylidene Flouride (PVDF) sebagai Tranduser Piezoelektrik*. [www.its.ac.id](http://www.its.ac.id). ITS Online Library. Diakses tanggal: 4 Agustus 2009.

Santoso, D. R, 2005, *Design of Piezoelectric Sensor for Stress Measurement of Structural Members*, Jurnal, Transaction of Japan Society of Naval Architects No. 109, Edisi Maret 2005

Thompson, Mitchel L., *On the Material Properties and Constitutive Equation of Piezoelectric Poly Vinylidene Flouride (PVDF)*. Drexel University April 2002

Tipler, P.A.,1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I* (terjemahan), Jakarta: Penebit Erlangga

Young, H. D. & Freedman, R. A., 2002, *Fisika Universitas* (terjemahan), Jakarta: Penerbit Erlangga

Vinogradov AM, Holloway F, 1999, *Mechanical Testing and Characterization of PVDF, a Thin Film Piezoelectric Polymer*, J. Adv Material.

Wang TT, Herbert JM, Glass AM, 1988, *The Application of Ferroelectric Polimers*, Blackie, Glasgow and London.

Webster, John G. 1999, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, CRC Press.

William D. C, 1993. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Erlangga, Jakarta;

Wilson, John, 2005. *Sensor Technology Handbook*. Elsevier Inc. UK