

STUDI FASE DAN KOEFESIEN PIEZOELEKTRIK PADA PVDF YANG DIREGANGKAN

Aditya Nugraha¹, Masri Bin Ardin¹, Rivandra Rezani¹

¹Jurusan Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Subang, Subang 41211
E-mail : aditya@polsub.ac.id

ABSTRAK

Polyvinylidene fluoride (PVDF) merupakan material yang dapat memiliki sifat piezoelektrik setelah dilakukan proses peregangan (*stretching*) secara mekanis pada material tersebut. Hasil dari proses peregangan pada PVDF tentunya menghasilkan PVDF dengan tingkat ketebalan yang berbeda-beda walau diregangkan dengan rasio yang sama. Dengan adanya perbedaan ketebalan pada peregangan PVDF, maka penelitian ini dilakukan, yaitu dengan meregangkan PVDF dengan rasio 6 dan suhu konstan sebesar 80°C. Perbedaan ketebalan yang dihasilkan dari proses peregangan diuji dari nilai koefisien d_{33} dan fraksi fase β . Pada penelitian ini nilai koefisien d_{33} diuji menggunakan alat d_{33} meter sedangkan fraksi fase β menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Ketebalan PVDF yang dihasilkan dari proses peregangan pada penelitian ini berkisar antara 26-31 μm . PVDF dengan ketebalan 26 μm memiliki nilai d_{33} dan fraksi fase β paling baik, dimana nilai d_{33} yang diperoleh adalah -26,5 pmV^{-1} dan fraksi fase β sebesar 78,11%. Hasil keseluruhan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai d_{33} pada PVDF akan menurun jika ketebalan PVDF semakin tinggi.

Kata Kunci

Pvdf, koefisien d_{33} , Fase β , Piezoelektrik

1. PENDAHULUAN

Polyvinylidene fluoride (PVDF) merupakan material jenis polimer dengan rumus kimia adalah (-CH₂-CF₂-) [1]. Kelebihan dari material ini memiliki sifat piezoelektrik dan pyroelektrik yang kuat. Selain sifat piezoelektriknya, PVDF adalah polimer yang sangat berguna karena stabilitas kimianya, dan modulus elastisitas tinggi jika dibandingkan dengan polimer lainnya. Selain itu PVDF berguna sebagai dielektrik karena permitivitasnya yang tinggi dan faktor disipasi rendah [2].

Sifat piezoelektrik yang dimiliki oleh PVDF sangatlah berguna, sebab dengan sifat tersebut PVDF dapat menghasilkan listrik jika diberi tekanan ataupun gaya. Oleh karena itu material ini sering dimanfaatkan sebagai sensor gaya, sensor getaran dan bahkan ada beberapa penelitian yang mencoba membangkitkan listrik menggunakan material PVDF ini. Selain itu material ini memiliki beberapa keunggulan yaitu sifat kekakuan yang rendah, respon yang baik, fleksibel, dan ringan [3-6].

PVDF memiliki lima fase kristal yaitu α , β , γ , δ , dan ϵ [7-8]. Fase yang paling sering digunakan adalah fase α yang bersifat non-polar (tidak memiliki sifat piezoelektrik), dan fase β bersifat piezoelektrik. Untuk menguji sifat piezoelektrik pada PVDF, dapat dilakukan dengan beberapa metode. Beberapa diantaranya adalah menguji fraksi β dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-ray Diffraction* (XRD),

menguji arah domain dengan Piezoresponse force microscopy (PFM) dan dapat juga dengan mengukur koefisien d_{33} pada material piezoelektrik dengan menggunakan d_{33} meter [9].

Material ini tidak secara otomatis memiliki sifat piezoelektrik. Sebab fase pada PVDF yang baru saja diproduksi adalah fase α . Untuk memunculkan sifat piezoelektrik pada material ini, dibutuhkan beberapa proses. Secara umum, ada lima proses utama dalam pembuatan film PVDF piezoelektrik, yaitu meregangkan film PVDF (*stretching*), pemasangan elektroda pada PVDF, proses poling atau pemberian listrik DC bertegangan tinggi, pemasangan kabel di piring tembaga, dan laminasi dengan plastik [10]. Proses peregangan, dan poling merupakan proses yang dapat membuat terjadinya transformasi fase α ke fase β pada PVDF. Namun proses peregangan pada PVDF merupakan proses yang paling penting. Sebab fraksi β pada PVDF dapat bertransformasi dari fase α hingga lebih dari 60% setelah dilakukan peregangan. Sedangkan proses poling hanya dapat meningkatkan fase β hingga 20% saja [9-11].

Ketika polimer ditarik/ diregangkan dari dua sisi, maka polimer akan menjadi lebih panjang dan tipis. Demikian juga dengan PVDF, PVDF akan menjadi lebih panjang dan tipis setelah dilakukan proses peregangan. Besar perpanjangan pada PVDF tersebut biasa disebut rasio peregangan [7-11]. Semakin besar rasionya, maka PVDF akan semakin tipis.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rasio dan suhu pada proses peregangan sangat berpengaruh terhadap tinggi rendahnya sifat piezoelektrik pada PVDF [8-10]. Penelitian yang dilakukan oleh Sencandas dkk (2009) membuktikan bahwa PVDF dapat memiliki sifat piezoelektrik yang baik jika diregangkan dengan rasio peregangan 5 dan dengan suhu 80°C [9,10]. Studi yang dilakukan oleh Li (2014) pun menunjukkan bahwa rasio yang baik untuk peregangan adalah lebih dari 5 [8].

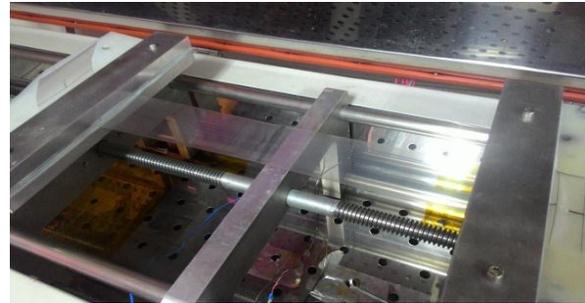
Ketika PVDF telah melalui proses peregangan dengan rasio dan suhu yang telah disesuaikan, tentunya ada beberapa sisi yang tidak tertarik secara sempurna. Sehingga setelah dilakukan peregangan ada beberapa sisi pada PVDF yang lebih tebal dibandingkan sisi yang lain. Perbedaan ketebalan pada material PVDF yang telah diregangkan dengan rasio dan suhu yang sama dikaji pada penelitian ini. Rasio dan suhu yang digunakan dalam penelitian ini telah ditentukan, yaitu rasio 6 dan suhu 80°C . Sebab peregangan dengan kondisi tersebut merupakan kondisi yang baik untuk mendapatkan sifat piezoelektrik pada PVDF [8-10]. Pada penelitian ini performa PVDF yang telah diregangkan diuji dari sisi nilai koefesien d_{33} dan fase β yang diuji menggunakan d_{33} meter dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

2. METODE PERCOBAAN

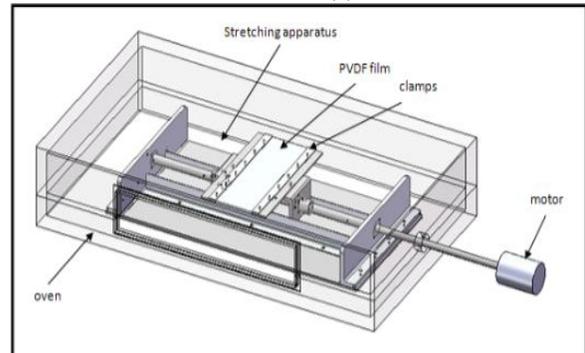
2.1 Peregangan (*stretching*)

Peregangan pada PVDF bertujuan untuk mendapatkan sifat piezoelektrik pada PVDF. Dalam penelitian ini, proses peregangan PVDF dilakukan menggunakan peregang polimer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1a merupakan gambar peregang polimer yang diletakkan di dalam oven dengan pengontrol suhu otomatis. Oven menggunakan elemen pemanas sebagai sumber panas. Agar suhu lebih merata di setiap sudut, maka blower dipasang di dalam oven. Gambar 1b merupakan skema mesin peregang polimer PVDF. Dalam proses ini, PVDF diregangkan dengan 1 arah yaitu secara horizontal. PVDF diklem pada dua sisi yang kemudian motor DC berputar untuk menarik kedua sisi PVDF.

Lembaran PVDF yang diregangkan dalam penelitian ini berukuran 150×100 mm dengan ketebalan $120\mu\text{m}$. Sebelum melakukan proses peregangan, oven dipanaskan terlebih dahulu hingga mendapatkan suhu sebesar 80°C . Setelah mendapatkan suhu konstan, motor dengan torsi sekitar $19,10$ Nm berputar untuk menarik PVDF yang telah diklem. Proses peregangan PVDF dilakukan hingga mendapatkan rasio peregangan PVDF sekitar 6.



(a)



(b)

Gambar 1a. PVDF yang diregangkan di dalam oven b. Skema peregang PVDF

2.2 Pengukuran ketebalan PVDF

Ketebalan PVDF yang telah melalui proses peregangan akan memiliki ketebalan yang berbeda-beda pada tiap sisi. Lembar tipis PVDF yang telah diregangkan diukur menggunakan Pengukur ketebalan (*thickness gauge*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengukuran ketebalan pada PVDF dilakukan pada tiap luas bagian 20×20 mm.



Gambar 2. Pengukur ketebalan (*thickness gauge*)

2.3 Pengukuran Koefisien D_{33}

Koefisien piezoelektrik (d_{33}) yang merupakan parameter terpenting dalam menentukan kinerja bahan piezoelektrik secara langsung. Koefisien d_{33} pada PVDF diukur dengan d_{33} meter. Dalam proses pengukuran, PVDF perlu ditutup dengan lapisan tembaga (Cu) pada keduanya sebelum diukur menggunakan d_{33} meter. Posisi kaku pada PVDF perlu dilakukan sebab karakteristik fleksibilitas pada PVDF dapat mengganggu ketepatan pengukuran. D_{33} meter digunakan pada frekuensi operasi 1000 Hz dan dengan interval waktu 24 jam setelah proses peregangan PVDF. Hasil pengukuran koefisien d_{33} pada penelitian ini merupakan nilai rata-rata hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang hingga sepuluh kali.

2.4 Pengujian Fraksi β

FTIR digunakan untuk mengamati interaksi molekuler dengan menggunakan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu. PVDF diukur seberapa baik sampel menyerap atau mentransmisikan cahaya pada masing-masing panjang gelombang yang berbeda saat menggunakan FTIR. Data intensitas penyerapan dan panjang gelombang digunakan untuk menghitung fraksi β -fase. Rentang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah $650-1100\text{ cm}^{-1}$ dan resolusi 4 cm^{-1} digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengujian fraksi fase β dengan FTIR dihitung dengan rumus:

$$F(\beta) = \frac{A_\beta}{(X_\beta/X_\alpha)A_\alpha + A_\beta} \dots\dots(1)$$

Dimana X_α dan X_β adalah koefisien absorpsi, sementara A_α dan A_β adalah nilai absorbansi pada puncak α dan β [7-12].

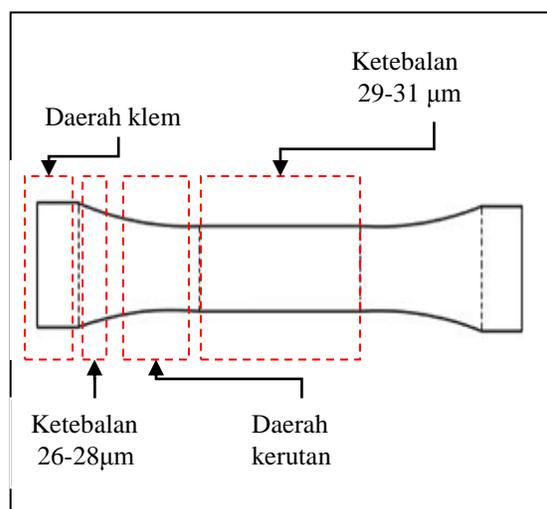
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 merupakan hasil peregangan PVDF dengan suhu peregangan sebesar 80°C dan rasio 6. Dengan rasio peregangan 6, ketebalan PVDF yang dihasilkan berkisar 26-31 μm . Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa lebar PVDF semakin mengecil di tengah. Selain itu terdapat banyak kerutan pada sisi pinggir kanan dan kiri pada PVDF. Gambar 4 merupakan gambaran hasil dari peregangan PVDF.

PVDF yang lebih tipis cenderung berada di sisi pinggir kanan dan kiri (dekat dengan klem). Sedangkan semakin ditengah semakin tebal. Daerah klem dan daerah kerutan merupakan daerah yang jarang digunakan untuk sensor. Sebab pada daerah klem tidak terjadi peregangan. Sedangkan daerah kerutan jarang digunakan karena tidak dapat dipolarisasi dengan sempurna.



Gambar 3. PVDF yang telah diregangkan



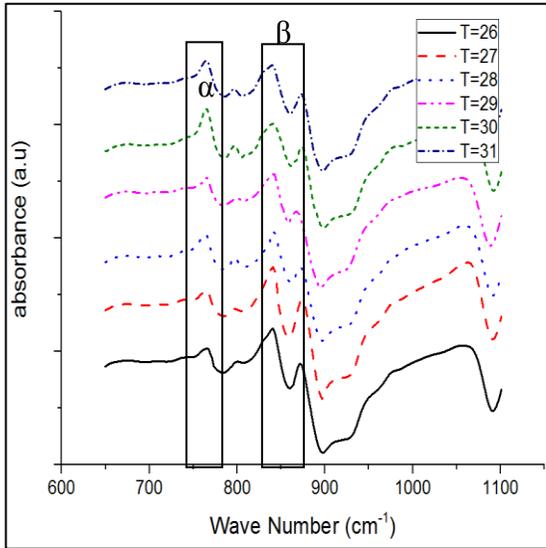
Gambar 4. Skema hasil peregangan PVDF

Sampel PVDF yang telah dipotong dengan ukuran 20x20 mm diukur menggunakan d_{33} meter dan FTIR. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran nilai rata-rata koefisien d_{33} pada PVDF dengan ketebalan yang berbeda-beda. Nilai d_{33} pada PVDF menunjukkan nilai negatif. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pu (2010), Katsouras (2016), dan Bystrov (2013) yaitu nilai d_{33} pada PVDF bernilai negatif [13-15]. Pada pengukuran d_{33} pada PVDF, semakin negatif nilainya, maka sifat piezoelektrik pada PVDF semakin baik [7-15].

Tabel 1. Hasil pengukuran koefisien d_{33}

No.	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Rasio	Ketebalan (μm)	Rata-rata Koefisien d_{33} (pmV^{-1})
1	80	6	26	-26,5
2	80	6	27	-26,43
3	80	6	28	-25,8
4	80	6	29	-25,74
5	80	6	30	-25,51
6	80	6	31	-25,34

Nilai koefisien d_{33} pada PVDF dengan ketebalan $26\mu\text{m}$ adalah -26.54 pmV^{-1} . Nilai koefisien d_{33} pada ketebalan $26\mu\text{m}$ menunjukkan sifat piezoelektrik yang paling baik. Sebab nilai koefisien dengan nilai negatif paling besar. Sedangkan sifat piezoelektrik pada ketebalan $31\mu\text{m}$ adalah yang paling buruk. Dari hasil keseluruhan, koefisien d_{33} pada PVDF dengan ketebalan berbeda menunjukkan adanya perbedaan nilai koefisien d_{33} , meskipun nilainya tidak terlalu berbeda jauh. Hasil tersebut menunjukkan nilai koefisien d_{33} semakin kecil jika material PVDF semakin tebal.



Gambar 5. Spektrum FTIR pada PVDF

Tabel 2. Nilai Absorbansi dan Fraksi fase β

Ketebalan (μm)	A_{α}	A_{β}	F (β) (%)
26	-0,00347	-0,0156	78,11
27	0,00247	0,0108	77,63
28	0,00435	0,019	77,61
29	0,0042	0,0173	76,57
30	0,00467	0,01896	76,32
31	0,00437	0,0176	76,17

Gambar 5. merupakan grafik spektrum hasil pengukuran PVDF menggunakan FTIR. Untuk menghitung nilai fraksi β , maka harus diketahui nilai puncak absorbansi α dan β , dimana nilai puncak fraksi terletak pada wave number 763 cm^{-1} dan fase β terletak pada 840 cm^{-1} . Nilai absorbansi yang didapat dari pengukuran FTIR dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan dari hasil FTIR. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan FTIR, nilai fraksi fase β pada PVDF yang diregangkan dengan rasio 6 dengan suhu 80°C berkisar antara 76-78%. Nilai fraksi β tertinggi ditunjukkan pada PVDF dengan ketebalan $26\mu\text{m}$. Sedangkan PVDF dengan ketebalan $31\mu\text{m}$ merupakan PVDF dengan fraksi β terendah. Secara keseluruhan, hasil pengukuran FTIR pada PVDF dengan ketebalan yang berbeda menunjukkan bahwa semakin tipis PVDF, maka jumlah fraksi β meningkat walau diregangkan dengan rasio yang sama. Hasil ini bersesuaian dengan nilai d_{33} yang didapatkan dari hasil pengukuran d_{33} meter.

4. KESIMPULAN

PVDF yang diregangkan dengan rasio 6 dan suhu 80°C menghasilkan lembaran dengan ketebalan yang berbeda-beda, yaitu berkisar $26-31\mu\text{m}$. PVDF yang paling tipis didapatkan pada daerah pinggir dekat klem, sedangkan semakin ketengah semakin tebal. Ketebalan pada PVDF berpengaruh pada sifat piezoelektrik pada PVDF yaitu nilai koefisien d_{33} dan besarnya fase β . Hasil terbaik ditunjukkan pada PVDF dengan ketebalan $26\mu\text{m}$. Sedangkan PVDF dengan ketebalan $31\mu\text{m}$ merupakan PVDF dengan hasil uji yang terburuk. Hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa semakin tebal hasil peregangan pada PVDF, maka sifat piezoelektrik pada PVDF semakin menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Departement Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, Taiwan dan Jurusan Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Subang yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian sehingga tulisan ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Verkhovskaya, K. A., et al. Photorefractive properties of a nanocomposite based on a ferroelectric polymer. *Technical Physics*, 2014, 59.8: 1224-1227.
- [2]. Chang, Wen-Yang, et al. Phase transformation and thermomechanical characteristics of stretched polyvinylidene fluoride. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, 480.1: 477-482.
- [3]. Spanu, A., et al. A high-sensitivity tactile sensor based on piezoelectric polymer PVDF coupled to an ultra-low voltage organic transistor. *Organic Electronics*, 2016, 36: 57-60.
- [4]. Kwon, Kye-Si; NG, Tse Nga. Improving electroactive polymer actuator by tuning ionic liquid concentration. *Organic Electronics*, 2014, 15.1: 294-298.
- [5]. Saketi, Pooya, et al. PVDF microforce sensor for the measurement of Z-directional strength in paper fiber

- bonds. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2015, 222: 194-203.
- [6]. Guzman, Enrique; Cugnoni, Joël; Gmur, Thomas. Monitoring of composite structures using a network of integrated PVDF film transducers. *Smart Materials and Structures*, 2015, 24.5: 055017.
- [7]. Yu, Shansheng, et al. Formation mechanism of β -phase in PVDF/CNT composite prepared by the sonication method. *Macromolecules*, 2009, 42.22: 8870-8874.
- [8]. Li, Li, et al. Studies on the transformation process of PVDF from α to β phase by stretching. *RSC Advances*, 2014, 4.8: 3938-3943.
- [9]. Ting, Yung, et al. "Design and characterization of one-layer PVDF thin film for a 3D force sensor." *Sensors and Actuators A: Physical* 250 (2016): 129-137.
- [10]. Ting, Yung, et al. A new approach of polyvinylidene fluoride (PVDF) poling method for higher electric response. *Ferroelectrics*, 2013, 446.1: 28-38.
- [11]. Mohammadi, B., Yousefi, A. A., & Bellah, S. M. (2007). Effect of tensile strain rate and elongation on crystalline structure and piezoelectric properties of PVDF thin films. *Polymer testing*, 26(1), 42-50.
- [12]. Sencadas, V., Gregorio Jr, R., & Lanceros-Méndez, S. (2009). α to β phase transformation and microstructural changes of PVDF films induced by uniaxial stretch. *Journal of Macromolecular Science*, 48(3), 514-525.
- [13]. Pu, Juan, et al. Piezoelectric actuation of a direct write electrospun PVDF fiber. In: *Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, 2010 IEEE 23rd International Conference on. IEEE, 2010. p. 1163-1166.
- [14]. Katsouras, Ilias, et al. The negative piezoelectric effect of the ferroelectric polymer poly (vinylidene fluoride). *Nature materials*, 2016, 15.EPFL-ARTICLE-212796: 78.
- [15]. Bystrov, Vladimir S., et al. Molecular modeling of the piezoelectric effect in the ferroelectric polymer poly (vinylidene fluoride)(PVDF). *Journal of molecular modeling*, 2013, 19.9: 3591-3602.