

SIMULASI DAN ANALISA MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS PIEZOCERAMIC TUBE UNTUK PENGUKURAN ALIRAN ULTRASONIC

SIMULATION AND ANALYSIS OF MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS PIEZO CERAMIC TUBE FOR ULTRASONIC FLOW MEASUREMENT

Helmy Mukti Himawan^{1*}

¹Program Studi Tekni Mekatronika, Politeknik Kota Malang

*e-mail: helmymukti@poltekom.ac.id

Abstrak— Piezoceramic Tube digunakan untuk tempat peletakan dari berbagai macam sensor dengan diameter yang relatif kecil dengan ukuran beberapa mikro meter sampai beberapa milli meter. Bahan yang digunakan dalam Piezoceramic Tube standar diformulasikan secara khusus untuk silinder, sehingga banyak berbagai macam sensor yang memiliki bentuk silinder karena menggunakan Piezoceramic sebagai tempat. Pemakaian Piezoceramic Tube salah satunya untuk mengukur aliran ultrasonic. Dalam pengukuran laju aliran ultrasonik pembedaan dibuat antara dua prinsip pengukuran yang berbeda yaitu efek Doppler dan analisis waktu gelombang berjalan. Dalam kedua kasus transduser Piezoceramic ditempatkan pada dinding tabung menghasilkan gelombang ultrasonik, yang kemudian ditransmisikan ke dalam cairan diagonal ke arah aliran.

Kata Kunci : Piezoceramic, ultrasonic, Silinder, deformasi, beda potensial.

Abstract— Tube piezoceramic used for the laying of a variety of sensors with a relatively small diameter to the size of a few micrometer to a few milli meters. Materials used in Piezoceramic Tube specially formulated standards for cylinders, so many different kinds of sensors which has a cylindrical shape for use as a place Piezoceramic. Use of Piezoceramic Tube one to measure ultrasonic flow. In the ultrasonic flow rate measurement distinction is made between two different measurement principles, namely the Doppler effect and timing analysis wave. In both cases Piezoceramic transducer placed on the walls of the tube produces ultrasonic waves, which are then transmitted into the liquid diagonal to the direction of flow.

Keywords : Piezoceramic, ultrasonic, Cylinders, deformation, potential difference.

Copyright © 2017 INVOTEK. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

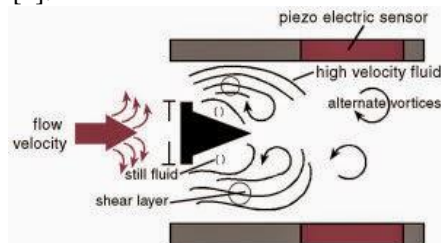
Piezoceramic Tube biasanya digunakan untuk sebuah wadah atau tempat peletakan dari berbagai macam sensor dengan diameter 30 μm untuk diameter yang paling kecil dan untuk yang terbesar sampai $\pm 30 \text{ mm}$ [1]. Bahan yang digunakan dalam Piezoceramic Tube standar diformulasikan secara khusus untuk silinder, sehingga banyak berbagai macam sensor yang memiliki bentuk silinder karena menggunakan

Piezoceramic sebagai wadah atau tempat. Respon yang bagus dan sedikit gangguan membuat bahan yang terbuat dari Piezoceramic sangat cocok untuk berbagai kebutuhan pada daya rendah dan daya tinggi untuk berbagai macam perangkat Piezoceramic seperti[1]:

- Sensor untuk mengukur aliran ultrasonik atau doppler.
- Sensor aliran gas.
- Level sensor.

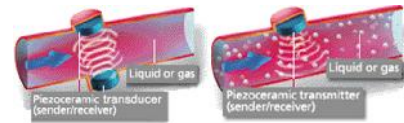
- Sensor ultrasonik untuk aplikasi NDT / NDE.
- Sensor untuk memeriksa bahan bangunan, las, dll dalam otomotif, struktural, dan aplikasi lain.

Salah satu contoh pemakaian Piezoceramic Tube salah satunya untuk mengukur aliran ultrasonic. Dalam pengukuran laju aliran ultrasonik pembedaan dibuat antara dua prinsip pengukuran yang berbeda yaitu efek Doppler dan analisis waktu gelombang berjalan. Dalam kedua kasus transduser Piezoceramic ditempatkan pada dinding tabung menghasilkan gelombang ultrasonik, yang kemudian ditransmisikan ke dalam cairan diagonal ke arah aliran. Doppler mengevaluasi pergeseran frekuensi gelombang ultrasonik, yang tercermin oleh partikel liar dalam cairan. Semakin besar kecepatan aliran cairan, semakin besar pergeseran frekuensi antara radiasi dan bagian depan gelombang yang dipantulkan. Hanya satu piezo transducer mengirim dan menerima pada waktu yang berbeda diperlukan untuk metode pengukuran ini. Prinsip pengukuran berdasarkan waktu gelombang selalu menggunakan dua transduser Piezoceramic posisi offset ke arah aliran [2].



Gambar 1. Prinsip pengukuran waktu gelombang menggunakan dua Piezoceramic[2].

Mekanisme mengirim atau menerima bergantian berbentuk dalam pulsa gelombang ultrasonik terhadap arah aliran dan suatu arah aliran yang berbeda. Dalam setiap kasus ada superimposisi kecepatan propagasi suara dan kecepatan aliran. Kecepatan aliran ini kemudian sebanding dengan nilai kebalikan dari propagasi waktu perbedaan dan berlawanan dengan arah aliran. Keuntungan dari metode pengukuran ini adalah bahwa pengukuran independen dari kecepatan propagasi suara dan karena itu juga media. Hal ini memungkinkan pengukuran kedua cairan dan gas [3].



Gambar 2. Contoh Pemakaian Piezoceramic [3]

Simulasi yang dilakukan untuk mengetahui bagaimana struktur mekanikal (deformasi) pada tabung Piezoceramic, ketika diberi tekanan secara bertahap mulai dari 0 – 1 MPa apakah terjadi perubahan pada struktur mekanikal pada tube tersebut dan pada kondisi sisi bawah tube dirancang untuk tidak dapat bergerak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Efek Doppler

Perubahan frekuensi gelombang mekanis akibat pergerakan transmitter atau receiver merupakan poin utama dalam penjelasan efek Doppler. Frekuensi gelombang yang ditangkap oleh receiver akan menjadi lebih besar saat receiver bergerak menuju transmitter atau saat transmitter bergerak menuju receiver, sedangkan frekuensi akan semakin kecil jika salah satu atau kedua-duanya bergerak saling menjauh dari yang lain. Secara matematis, hubungan frekuensi gelombang pada fenomena efek Doppler adalah seperti pada persamaan berikut [4].

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \right)$$

Dimana:

- f' = adalah frekuensi yang ditangkap oleh receiver(Hz)
- f = adalah frekuensi gelombang yang dipancarkan(Hz)
- v = adalah kecepatan rambat gelombang (m/s)
- v_p = adalah kecepatan perpindahan receiver (m/s)
- v_s = adalah kecepatan perpindahan transmitter (m/s)

2.2 Piezoelectric Material

Piezoelectric material merupakan material (pada umumnya kristal batuan, keramik, termasuk tulang dan polimer) yang memiliki kemampuan untuk membangkitkan potensial listrik sebagai respon dari tegangan mekanik yang diberikan pada material tersebut (wikipedia, the free encyclopedia). Kata piezo berasal dari bahasa

Yunani piezo atau piezein yang berarti memeras atau menekan. Efek piezoelectric dapat terjadi jika sebuah tegangan mekanik diaplikasikan pada suatu kristal tertentu seperti tourmaline, quartz, topaz, garam rochelle dan gula tebu akan muncul suatu muatan listrik dan tegangan listrik tersebut proporsional dengan tegangan mekanik yang diberikan [5]. Material piezoelectric dapat dibagi menjadi 3 jenis:

- Kristal, seperti *Quartz* (SiO_2), *Gallium Orthophosphate* (GaPO_4)
- Keramik, seperti *Barium Titanate* (BaTiO_3), *Lead Zirconate Titanate* (PZT)
- Polimer, seperti *Polyvinylidene Difluoride* (PVDF)

Material *piezoelectric* sangat sensitif terhadap adanya tegangan mekanik dan medan listrik. Jika tegangan mekanik diaplikasikan ke suatu material *piezoelectric* maka akan terjadi suatu medan listrik pada material tersebut, fenomena ini yang disebut efek *piezoelectric*. Efek *piezoelectric* mendeskripsikan hubungan antara tegangan mekanik dengan tegangan listrik pada benda padat. Efek *piezoelectric* tersebut bersifat *reversible* yaitu dapat menghasilkan *direct piezoelectric effect* (menghasilkan energi listrik jika diaplikasikan tegangan mekanik) dan menghasilkan *reverse piezoelectric effect* (menghasilkan tegangan dan regangan mekanik jika diaplikasikan beda potensial listrik) [6].

2.3 Direct Piezoelectric Effek

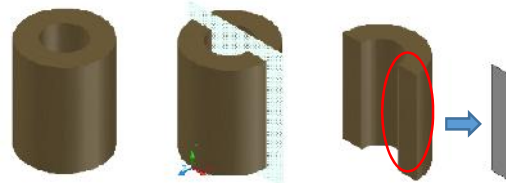
Direct piezoelectric effect muncul ketika terjadi deformasi mekanik dari bahan piezoelektrik akan menghasilkan polarisasi muatan yang proporsional tertiadap deformasi yang terjadi. *Converse piezoelectric effect* terjadi ketika tekanan mekanik proporsional terhadap medan listrik yang bekerja pada bahan menginduksi bahan piezoelectric. 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.[7]

Efek piezoelectric yang sangat lemah awalnya dilaporkan terjadi dalam jaringan organik dan bahan organik lain sejak 1950 sampai tahun 1969 belum ditemukan sifat ini

dalam polimer non organik. Sifat listrik dari berbagai polimer sintetis, ditemukan polarisasi muatan pada olivinilidin. Penelitian berikutnya kemudian meneliti tentang piezoelectric. ferroelectric, dielectric, piroelektric, elektrokalorik, fotovoltaiik, fotoelastik, dan sifat optis dari Polivinylidene Florudine [8].

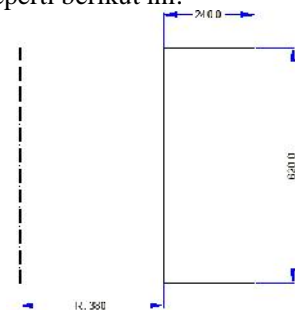
3. METODOLOGI

Design yang dilakukan adalah memotong salah satu bagian pada Piezoceramic Tube menjadi sebuah bentuk persegi yang dapat dilihat pada gambar dibawah berikut ini:



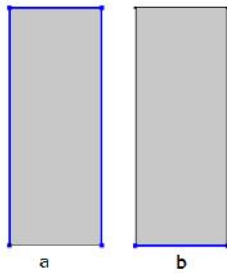
Gambar 3. Bagian *Piezoceramic* yang akan disimulasikan

Sisi yang akan disimulasikan dengan menggunakan Comsol Multiphysic memiliki dimensi seperti berikut ini:



Gambar 4. Dimensi awal sebelum dilakukan perubahan (dimensi μm)

Langkah selanjutnya adalah menentukan sisi yang bersifat elastis seperti gambar sisi biru yang ditunjukkan pada gambar 5 (a) dan sisi mana yang bersifat tetap atau tidak dapat bergerak seperti yang ditunjukkan sisi berwarna biru pada gambar 5 (b).



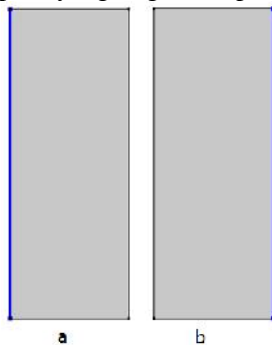
Gambar 5. (a) sisi yang bersifat elastis (b) sisi yang tidak dapat berubah

Langkah berikutnya setelah menentukan sisi – sisi mana yang bersifat elastis dan mana yang tidak dapat bergerak atau sisi yang tetap adalah menentukan sisi yang akan menerima beban tekanan dari fluida yang bergerak dalam *tube*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Sisi yang akan disimulasikan untuk dekenai beban tekanan dari fluida

Jika pada simulasi ini ingin juga menampilkan beda potensial yang terjadi pada bahan *Piezoceramic*, maka diperlukan untuk penentuan sisi mana yang akan dijadikan ground dan sisi mana yang akan memiliki potensial Elektrik. Dalam hal ini tentu sisi dalam dari *tube* yang akan dijadikan sebagai ground dan sisi luar dijadikan sebagai bahan yang memiliki potensial elektrik. Seperti yang tergambar pada gambar 7.



Gambar 7. (a) sisi yang dijadikan ground (b) sisi yang memiliki potensial elektrik

Design persegi yang akan disimulasikan sebagai *Piezo Tube* telah selesai untuk penentuan sisi elastis, bagian mana yang akan menerima beban tekanan dari fluida dan sisi mana saja yang akan dijadikan *ground* dan yang memiliki potensial eletrik. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan pemilihan bahan yang biasa digunakan yaitu **Lead Zirconate Titanate (PZT-5H)**. Selain itu juga harus menentukan parameter dari material yang dipakai, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.

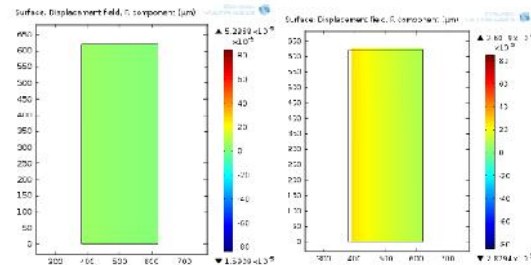
Property	Name	Value	Unit	Prop
✓ Density	rho	7500{k...	kg/...	Basic
✓ Elasticity matrix (Ordering: xx...	cE	{1.2720...	Pa	Stres
✓ Coupling matrix	eES	{0[C/...	C/m...	Stres
✓ Relative permittivity	epsil...	{1704.4...	1	Stres
Compliance matrix (ordering...	sE	{1.65e-...	1/Pa	Strair
Coupling matrix (ordering: x...	dET	{0[C/N...	C/N	Strair
Relative permittivity	epsil...	{3130, ...	1	Strair
Loss factor for compliance ...	eta_sE	0	1	Strair
Loss factor for coupling mat...	eta_...	{0, 0, 0, ...	1	Strair

Gambar 8. Parameter yang didapatkan dari *Material Library COMSOL*

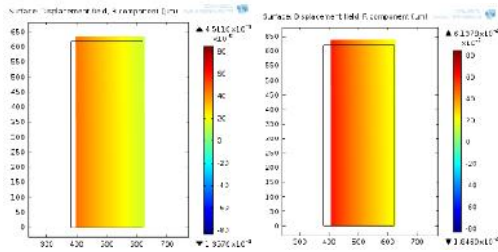
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Deformasi kondisi awal

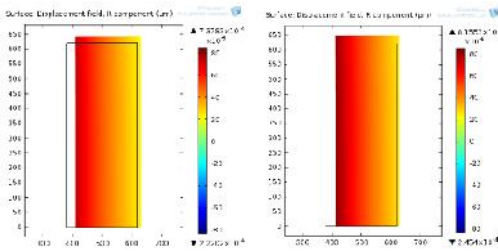
Sistem Pertama adalah menentukan berapa tekanan yang akan diterima oleh device *Piezoceramic Tube* tersebut. Dalam hal ini telah ditentukan pada paper tekanan yang diberikan adalah 0.1 MPa, tetapi dalam uji coba simulasi yang akan digunakan ini akan menggunakan beban bervariasi sebanyak 5 dengan kenaikan secara bertahap yaitu 0.1 MPa (Tekanan min 0 MPa dan Max 0.5 MPa). Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan Comsol maka diperoleh data perubahan struktur mekanik atau disebut dengan Deformasi pada permukaan *Piezoceramic* dapat dilihat pada gambar 9 s.d 11.



Gambar 9. Deformasi untuk tekanan 0 MPa dan 0.1 MPa (Legend dalam μm)



Gambar 10. Deformasi untuk tekanan 0.2 MPa dan 0.3 MPa (Legend dalam μm)



Gambar 11. Deformasi untuk tekanan 0.4 MPa dan 0.5 MPa (Legend dalam μm)

Dari hasil uji coba simulasi yang telah dilakukan maka dapat ditulis dalam tabel 1 berikut perubahan yang terjadi pada *Piezoceramic Tube* ketika diberi tekanan yang berbeda.

Tabel 1. Hasil Deformasi untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

NO	TEKANAN (MPa)	DEFORMASI (UM)
1	0	5
2	0.1	26.019
3	0.2	45.116
4	0.3	61.378
5	0.4	73.783
6	0.5	81.553

4.2 Pengujian Deformasi dengan kondisi lebih tebal 1,5 kali dan lebih tipis 1,5 kali

Percobaan berikutnya adalah mempertebal lapisan *piezoceramic tube* dari kondisi awal, setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan Comsol maka diperoleh data perubahan struktur mekanik atau disebut dengan Deformasi pada permukaan *Piezoceramic* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Deformasi dengan mempertebal lapisan *Piezoceramic tube* untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

No	Tekanan (MPa)	Deformasi (μm)
1	0	4.29
2	0.1	21.14
3	0.2	36.66
4	0.3	49.87
5	0.4	59.95
6	0.5	66.27

Percobaan berikutnya adalah mempertipis lapisan *piezoceramic tube* dari kondisi awal, setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan Comsol maka diperoleh data perubahan struktur mekanik atau disebut dengan Deformasi pada permukaan *Piezoceramic* dapat dilihat pada tabel 3.

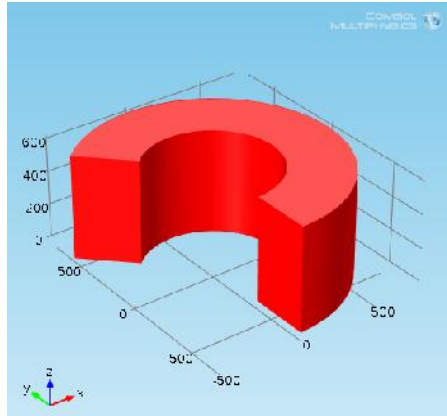
Tabel 3. Hasil Deformasi dengan mempertipis lapisan *Piezoceramic tube* untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

No	Tekanan (MPa)	Deformasi (μm)
1	0	6.70
2	0.1	32.99
3	0.2	57.19
4	0.3	77.81
5	0.4	93.54
6	0.5	103.39

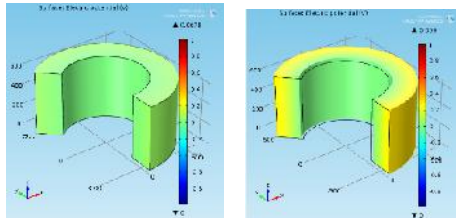
4.3 Pengujian Beda Potensial pada *Piezoceramic*

Pada pengujian ini yang ingin dilihat adalah beda potensial yang terjadi pada *Piezoceramic*. Pada pengujian kali ini gambar persegi dilakukan putaran sebesar 225° , sehingga dapat melihat sisi dari *Piezoceramic* secara 3 dimensi. Untuk mengubah menjadi 3 dimensi maka pada data sets di sub bagian result ditambahkan revolution 2D. Sehingga hasil dapat dilihat seperti pada gambar 12.

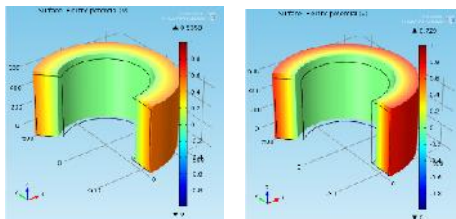
Sehingga pada result sub bagian Potential 3D(Pzd), dapat mengambil data sets baru yang telah dibuat diatas. Maka perubahan potensial dapat dilihat pada gambar 13 s.d 15.



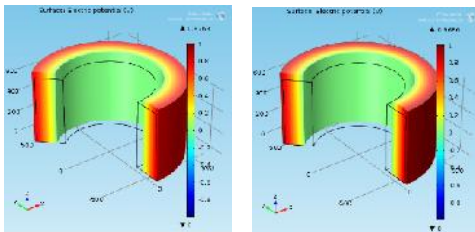
Gambar 12. Tampilan setelah dilakukan Revolution



Gambar 13. Potensial untuk tekanan 0 MPa dan 0.1 MPa (Legend dalam V)



Gambar 14. Potensial untuk tekanan 0.2 MPa dan 0.3 MPa (Legend dalam V)



Gambar 15. Potensial untuk tekanan 0.4 MPa dan 0.5 MPa (Legend dalam V)

Dari hasil uji coba dapat dibuat dalam sebuah tabel data seperti yang tertulis pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Beda Potensial untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

No	Tekanan (MPa)	Potensial (V)
1	0	0.062
2	0.1	0.309
3	0.2	0.536
4	0.3	0.729
5	0.4	0.876
6	0.5	0.969

4.4 Pengujian Beda Potensial pada Piezoceramic dengan kondisi lebih tebal 1,5 kali dan lebih tipis 1,5 kali

Percobaan berikutnya adalah mempertebal lapisan *piezoceramic tube* dari kondisi awal, setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan Comsol maka diperoleh dapat mengambil data sets baru yang telah dibuat diatas. Maka perubahan potensial *Piezoceramic* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Beda Potensial dengan mempertebal lapisan *piezoceramic* untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

No	Tekanan (MPa)	Potensial (V)
1	0	0.062
2	0.1	0.309
3	0.2	0.536
4	0.3	0.729
5	0.4	0.876
6	0.5	0.969

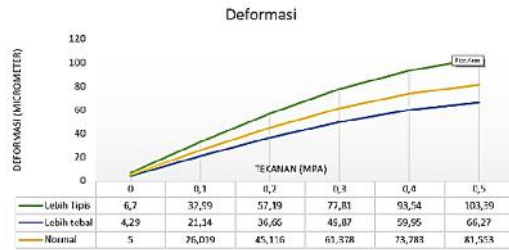
Percobaan berikutnya adalah mempertipis lapisan *piezoceramic tube* dari kondisi awal, setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan Comsol maka diperoleh dapat mengambil data sets baru yang telah dibuat diatas. Maka perubahan potensial *Piezoceramic* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Beda Potensial dengan mempertebal lapisan *piezoceramic* untuk tekanan 0 MPa – 0.5 Mpa

No	Tekanan (MPa)	Potensial (V)
1	0	0.062
2	0.1	0.309
3	0.2	0.536
4	0.3	0.729
5	0.4	0.876
6	0.5	0.969

5. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tipis lapisan yang digunakan pada *piezoceramic tube* maka semakin besar deformasi yang terjadi, hal ini sesuai dengan rumusan bahwa tebal benda akan mempengaruhi deformasi dari benda tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar 16.



Gambar 16. Deformasi *piezoceramic tube*

Dari gambar 16 dapat disimpulkan bahwa deformasi terbesar terjadi pada *piezoceramic tube* yang paling tipis pada tekanan 0,5 MPa yaitu sebesar 103,39 µm, lebih jelas dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7. Hasil deformasi *piezoceramic tube* secara keseluruhan

Tekanan (MPa)	Lebih Tipis (µm)	Lebih tebal (µm)	Normal (µm)
0	6,7	4,29	5
0,1	32,99	21,14	26,019
0,2	57,19	36,66	45,116
0,3	77,81	49,87	61,378
0,4	93,54	59,95	73,783
0,5	103,39	66,27	81,553

Kesimpulan kedua dari penelitian ini bahwa tebal lapisan tidak berpengaruh pada beda potensial yang terjadi pada *piezoceramic tube*, hal ini dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



Gambar 17 Beda potensial pada *piezoceramic tube*

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa beda potensial yang terjadi pada *piezoceramic tube* tidak terpengaruh oleh tebal tube.

Tabel 8. Hasil deformasi *piezoceramic tube* secara keseluruhan

Tekanan (MPa)	Normal (V)	Lebih Tipis (V)	Lebih Tebal (V)
0	0,062	0,062	0,062
0,1	0,309	0,309	0,309
0,2	0,536	0,536	0,536
0,3	0,729	0,729	0,729
0,4	0,876	0,876	0,876
0,5	0,969	0,969	0,969

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Peelamedu, C. B. Kosaraju, R. V. Dukkupati and N. G. Naganathan, *Numerical Approach for Axisymmetric Piezoceramic Geometries towards Fluid Control Applications, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, vol. 214, no. 2, pp. 87-97, (2000).
- [2] Thomas R. Shrout, *Innovations in piezoelectric materials for ultrasound transducers, Applications of Ferroelectrics ISAF*, in: 17th IEEE International Symposium, (2008).
- [3] Lubis. A.M. dan Lizalidiawati, *Rancang-bangun alat penentuan kecepatan bunyi di udara berbasis instrumentasi*, Jurnal Gradien Vol.1 No.1 hal 10-15, (2005).

- [4] Surbakti. T. dan Surian Pinem, Analisis *Koefisien Reaktivitas Doppler Pada Reaktor PWR Dengan WimsAnl*, Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta fasilitas Nuklir, ISSN 0854-2910, Jakarta, (2007).
- [5] Yang, Jiashi, *An Introduction To The Theory of Piezoelectricity*, Springer Science Business Media Inc., Boston, (2005),
- [6] Tichi, Jan, *Fundamental of Piezoelectric Sensorics*, Springer Science Business Media Inc., Boston, (2010).
- [7] Arnau, A. *Piezoelectric Transducers and Applications Second Edition*, Springer, Spain (2008).
- [8] Santoso, D. R. , *Design of Piezoelectric Sensor for Stress Measurement of Structural Members*, Jurnal, Transaction of Japan Society of Naval Architects No. 109, (2005).

Biodata Penulis

Helmy Mukti Himawan, Dosen Program Studi Teknik Mekatronika, Politenik Kota Malang. Pendidikan D4 – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (Teknik Elektronika – Konsentrasi Mekatronika), S2 – Universitas Brawijaya (Teknik Elektro – Konsentrasi Sistek Kendali dan Elektronika).