

## PENGUKURAN FREKUENSI RESPON PIEZOELEKTRIK UNTUK KOMPONEN ELEMEN AKTIF TRANSDUSER ULTRASONIK

**Darmawan Hidayat, Bambang Mukti Wibawa<sup>1</sup>, Nendi Suhendi Syafei<sup>2</sup>**

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas

Padjadjaran

email: darmawan.hidayat@unpad.ac.id

### *Abstrak*

Elemen piezoelektrik adalah komponen utama dalam suatu transduser ultrasonik berbasis piezoelektrik. Elemen ini menentukan kinerja dan spesifikasi suatu transduser, salah satunya adalah frekuensi kerja gelombang ultrasonik yang dibangkitkan. Makalah ini menyajikan metode pengukuran respon frekuensi suatu elemen aktif piezoelektrik komersial dan menguji pembangkitan gelombang ultrasonik dari elemen aktif tersebut. Pengukuran respon frekuensi dilakukan dengan mode transmisi menggunakan dua PZT-disk sebagai pemancar dan penerima yang ditempatkan di dalam air (tercelup) dengan jarak 5 cm. Rentang frekuensi penyapuan adalah 500 – 1550 Hz. Pengujian juga dikonfirmasi dengan eksitasi sinyal runcing-negatif (negative-spike). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi elemen aktif PZT adalah di kisaran 1100 Hz dalam rentang kerja 950 – 1250 Hz. Eksitasi sinyal runcing-negatif menghasilkan paket sinyal ultrasonik dengan kandungan frekuensi kerja 1020 Hz. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian, elemen aktif PZT-disk menunjukkan karakteristik sesuai dengan spesifikasi (datasheet) dan dapat berfungsi sesuai data sheet.

**Kata Kunci:** *ultrasonik, respon frekuensi, elemen aktif, frekuensi kerja*

### *Abstract*

*Piezoelectric active element is the main part of a piezoelectric-based ultrasonic transducer. This element determines the performance and specifications of a transducer, i.e. center-frequency of generated ultrasonic wave. This paper presents a frequency response measurement method of an active element and to evaluate its function for the generation of an ultrasonic wave. The frequency response measurement was conducted in transmission mode of propagation, using two commercially available immersible PZT-disk, each of as a transmitter and a receiver. Both PZT-disk were immersed in water placed on sight at a distance of 5 cm. The range of frequency sweep was 500 – 1550 Hz. The measured frequency response was compared to that of a negative-spike excitation. The measurement results shows that the frequency center is approximately at 1100 Hz in a working-frequency range of 950 – 1250 Hz. The negative-spike excitation results an ultrasonic signal packet contains a frequency of 1020 Hz. In conclusion, the evaluated PZT-disks indicated the appropriate characteristics as described in the data sheet.*

**Keywords:** *Ultrasonic, frequency response, active element, working frequency*

## PENDAHULUAN

Teknologi berbasis gelombang ultrasonik banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti: alat kesehatan, kedokteran, militer, otomotif, manufaktur, pertanian dan peternakan, hayati, sipil, dan lain sebagainya (Alouchea dkk, 2015; Vempatapu dan Kanaujia, 2017; Bergana, dkk, 2009; Martin dkk, 2014). Salah satu metode pembangkitan gelombang ultrasonik adalah dengan menggunakan efek piezoelektrik. Metode ini menggunakan piranti transduser ultrasonik (Hidayat, 2018). Transduser menjadi komponen utama dalam teknologi berbasis gelombang ultrasonik (Kajal dkk 2017). Tersedia berbagai jenis transduser komersial dengan berbagai peruntukan aplikasi. Pemilihan transduser yang cocok bergantung pada jenis aplikasi gelombang ultrasonik.

Secara umum, transduser ultrasonik dibangun dari tiga komponen utama yaitu (1) elemen aktif piezoelektrik, (2) lapisan belakang dan (3) lapisan penyesuai impedansi. Elemen aktif adalah komponen utama transduser yang mengubah besaran listrik menjadi gelombang ultrasonik dan sebaliknya (Her dan Lin, 2014). Beberapa parameter transduser ditentukan oleh elemen aktif piezoelektrik, seperti: frekuensi kerja, daya, dan atenuasi (Faheemw dkk, 2006). Untuk merancang frekuensi kerja transduser, respon frekuensi elemen aktif ini perlu diketahui. Oleh karena itu, pengukuran respon frekuensi menjadi penting dalam proses perancangan dan fabrikasi suatu transduser ultrasonik yang ditujukan untuk aplikasi tertentu. Makalah ini menyajikan teknik pengukuran respon frekuensi suatu elemen aktif piezoelektrik komersial untuk keperluan fabrikasi transduser ultrasonik.

## METODE

### 1. Elemen Aktif Piezoelektrik



Gambar 1. Elemen aktif piezoelektrik

Tabel 1. Spesifikasi PZT-8 disk yang dikaji

Parameter	Nilai
Produsen	UCE Ultrasonic, China
Tipe	UCE-302
Material	PZT-8
Diameter	30 mm
Ketebalan	20 mm
Frekuensi	1 MHz $\pm$ 5%
Kapasitansi	6500 pF $\pm$ 10%
Koef. Kopling elektromekanik, $K_p$	0,65
Koefisien elektromekanik, $K_t$	kopling 0,45
Koefisien piezoelektrik, $d_{33}$	tegangan 400×

Elemen aktif piezoelektrik yang diukur adalah bahan piezoelektrik komersial dari UCE Ultrasonic, Guangdhong, China. Bahan aktif *lead zirconate titanate-8* dengan rumus molekul  $PbZr_{(1-x)}Ti_x$  atau PZT-8 (Akai dkk, 2006; Nimmo dkk, 2014). Geometri piringan (disk), diameter dan tebal masing-masing

adalah 30 mm dan 2 mm (Gambar 1). Masing-masing permukaan telah dilapisi kontak konduktor. Spesifikasi lengkap transduser ini direkap dalam Tabel 1.

Kontaktor PZT-disk masing-masing disolder dengan kabel konduktor absorm nois rendah. Panjang kabel dibuat sependek mungkin untuk menghindari nois akibat kabel. Ujung kabel diberi konektor koaksial BNC untuk hubungan ke piranti lain, seperti: osiloskop, sinyal generator dan amplifier.

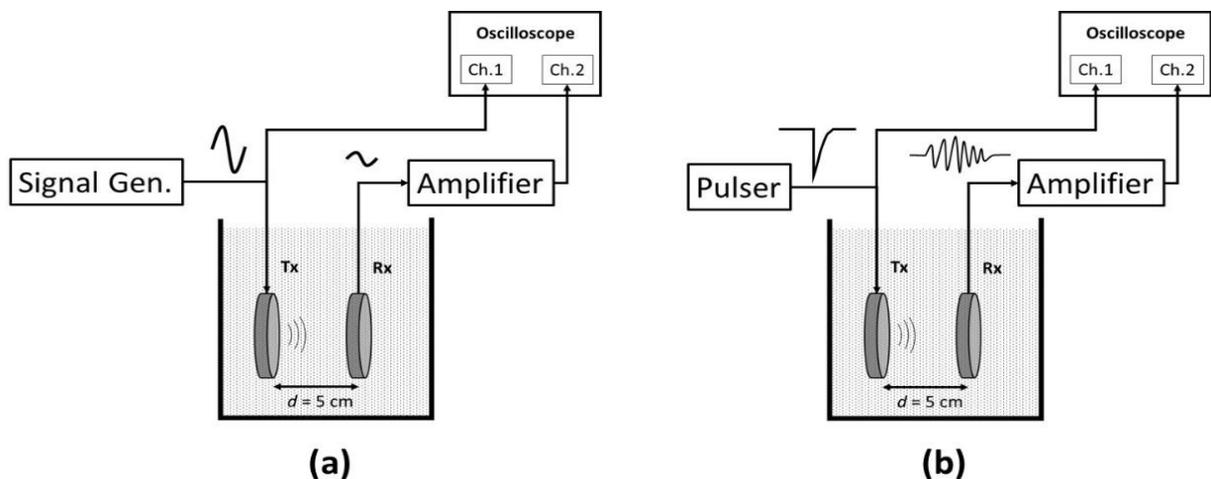
## 2. Pengukuran Respon Frekuensi

Teknik pengukuran respon frekuensi elemen aktif PZT- disk dilakukan dengan mode transmisi, yaitu: menggunakan dua PZT-disk yang ditempatkan secara berhadapan (Gambar 2.a). Pengukuran dilakukan dengan metode tercelup di dalam air untuk mengurangi rugi-rugi transfer daya gelombang ultrasonik akibat perbedaan impedansi PZT dengan medium. PZT-disk pertama sebagai pemancar (Tx) dan PZT-disk kedua sebagai penerima (Rx) terpisah dengan jarak 5 cm. PZT Tx pemancar dieksitasi oleh sinyal sinusoida amplitudo 10 Vpp dengan satu frekuensi yang dibangkitkan dari sautau generator sinyal variabel. Gelombang ultrasonik yang merambat diterima oleh PZT Rx yang mengubah gelombang ultrasonik menjadi sinyal listrik. Sebuah amplifier frekuensi tinggi memperkuat sinyal dari Rx yang masih sangat lemah. Untuk perhitungan magnitudo (*gain*) sinyal eksitasi awal dari generator sinyal dan sinyal terima ditampilkan dan direkam menjadi sinyal digital oleh suatu osiloskop digital kecepatan tinggi (GW-Instek GDS2014). Perhitungan gain, *A* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1. Untuk memperoleh respon frekuensi lengkap, frekuensi sinyal eksitasi divariasikan dalam rentang 500 – 1550 Hz yaitu mencakup frekuensi kerja menurut data sheet Tabel 1, dengan kenaikan 50 Hz.

$$A = \frac{A_o}{A_i} \quad (1)$$

dengan  $A_o$  dan  $A_i$  masing-masing adalah amplitudo sinyal eksitasi dan sinyal penerima dalam satuan volt.

Selain eksitasi dengan sinyal sinusoida kontinyu seperti Gambar 2.a, banyak aplikasi praktis menggunakan sinyal eksitasi berupa sinyal *negative-spike* (runcing negatif) seperti terlihat Gambar 2.b. Eksitasi sinyal runcing memiliki keunggulan, yaitu: meningkatkan sensitivitas pengukuran. Untuk menguji kemampuan elemen aktif PZT-disk dengan eksitasi sinyal runcing, pengujian dilanjutkan dengan memberikan sinyal eksitasi runcing negatif dengan lebar dan tegangan masing-masing adalah 100 ns dan 110 V. Bentuk sinyal di PZT penerima adalah *tone-burst*.

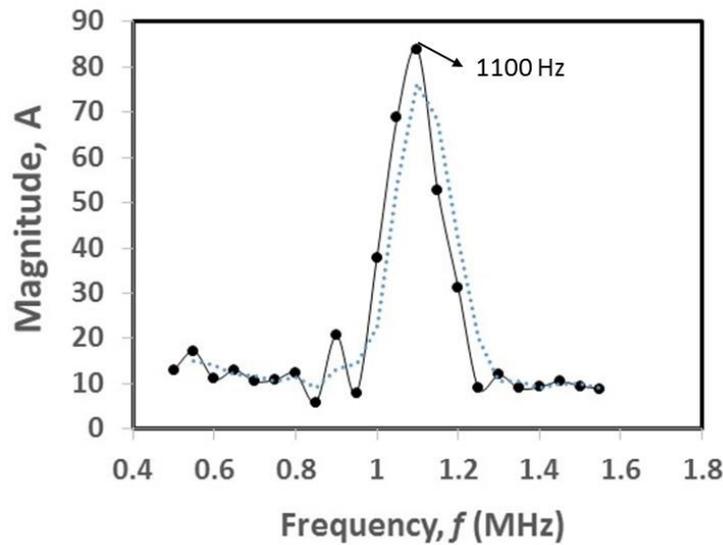


Gambar 2. Diagram pengukuran (a) respon frekuensi dan (b) pembangkitan gelombang ultrasonik

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengukuran Respon Frekuensi

Gambar 3 memperlihatkan respon frekuensi hasil pengukuran respon frekuensi. Magnitudo bernilai tinggi pada rentang 950 – 1250 Hz, menandakan bahwa rentang frekuensi kerja transduser berada dalam rentang ini. Pada rentang 500 – 950 Hz dan 1250 – 1550 Hz, magnitudo bernilai kecil. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi eksitasi PZT bukan berada dalam rentang-rentang ini. Puncak magnitudo terletak pada sekitar frekuensi 1100 Hz, sedikit berbeda dengan nilai data Tabel 1 yang menunjukkan 1000 Hz dengan variasi  $\pm 5\%$  (50 Hz). Terdapat perbedaan sekitar 50 Hz terhadap toleransi yang tercantum.



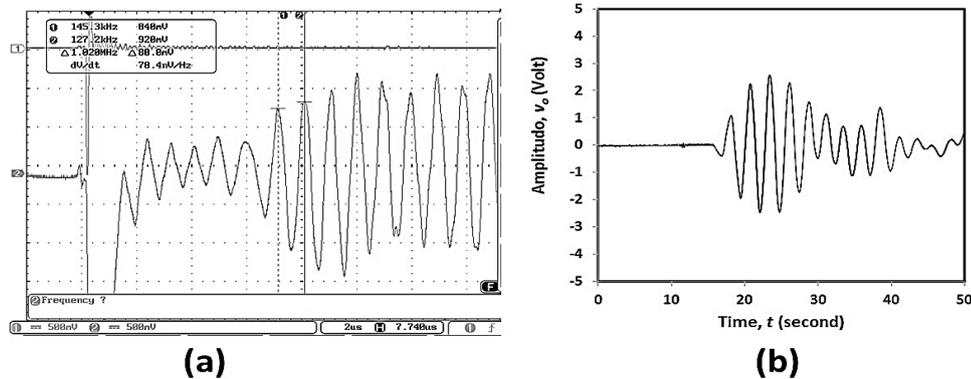
Gambar 3. Respon frekuensi

Perbedaan nilai maksimum ini kemungkinan disebabkan oleh resolusi pengukuran yang dilakukan dengan kenaikan frekuensi 50 Hz. Jika diamati pada nilai frekuensi 1050 dan 1100 Hz, ada kemungkinan terjadi puncak nilai magnitudo. Pengukuran yang lebih presisi dapat dilakukan dengan memperkecil nilai kenaikan frekuensi kurang dari 50 Hz.

### 2. Pembangkitan Ultrasonik

Bentuk sinyal gelombang ultrasonik di penerima hasil eksitasi sinyal runcing-negatif diperlihatkan pada Gambar 4.a. Dari hasil pengukuran perioda sumbu-x (waktu) antara dua puncak berdekatan diperoleh nilai 7,740  $\mu\text{s}$  atau setara 1,020 MHz. Nilai ini menunjukkan bahwa frekuensi gelombang ultrasonik yang dibangkitkan dari elemen PZT masih dalam rentang spesifikasi pabrik. Nilai frekuensi ini sesuai dengan hasil pengukuran respon frekuensi di kisaran 1100 Hz meskipun ada selisih sekitar 80 Hz. Selisih nilai ini kemungkinan disebabkan oleh resolusi pengukuran respon frekuensi sebesar 50 Hz sehingga presisi nilai pengukuran bergeser antara 1000, 1050 dan 1100 Hz.

Bentuk satu paket sinyal gelombang ultrasonik untuk satu eksitasi diperlihatkan pada Gambar 4.b. Tampak bahwa sinyal ultrasonik muncul sebagai paket sinyal sinusoida yang terkandung banyak komponen sinusoida. Mode pembangkitan paket sinyal ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan aplikasi karena lebih mudah dan mengurangi kompleksitas perangkat.



Gambar 4. Bentuk sinyal gelombang ultrasonik di penerima

## PENUTUP

### Simpulan

Pengukuran respon frekuensi elemen aktif PZT-8 disk komersial telah dilakukan; pembangkitan gelombang ultrasonik dengan eksitasi sinyal runcing-negatif telah dicobakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa frekuensi kerja elemen aktif berada di kisaran 1 MHz sesuai dengan data spesifikasi pabrik. Eksitasi elemen aktif oleh sinyal runcing-negatif juga menunjukkan nilai frekuensi kerja yang dekat, yaitu 1020 Hz. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa elemen aktif uji-coba membangkitkan frekuensi di kisaran 1 MHz dan bekerja sesuai dengan spesifikasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kemenristekdikti melalui skim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Universitas Padjadjaran tahun anggaran 2018. Kami mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas pendanaan PTUPT Universitas Padjadjaran No. 1090/UN6.D/LT/2018 Tahun Anggaran 2018.

## DAFTAR PUSTAKA

- B. Alouachea, F.K. Khechena, F. Lecheb, T. Boutkedjirt. 2015. Characterization of Olive Oil by Ultrasonic and Physico-chemical Methods. *Physics Procedia* 70:1061 – 1065.
- Bhanu Prasad Vempatapu, Pankaj K. Kanaujia. 2017. Monitoring petroleum fuel adulteration: A review of analytical methods. *Trends in Analytical Chemistry* 92 :1-11.
- D Hidayat, N S Syafei, B M Wibawa and B Y Tumbelaka. 2018. Fourier transform of high frequency ultrasonic waves propagated with a transmission mode. *Journal of Physics: Conf. Series* 1080:012034
- Daisuke Akai, Yasuhiro Oba, Nagaya Okada, Mikinori Ito, Kazuaki Sawada, Hidekuni Takao, and Makoto Ishida. 2006. Fabrication of ultrasonic transducers using epitaxial Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> thin films on epitaxial  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si substrates for smart sensors. *Sensors and materials* 18:3 pp. 161 – 169.
- K. Heath Martin, Brooks D. Lindsey, Jianguo Ma, Mike Lee, Sibbo Li, F. Stuart Foster, Xiaoning Jiang and Paul A. Dayton. 2014. Dual-Frequency Piezoelectric Transducers for Contrast Enhanced Ultrasound Imaging. *Sensors* 2014, 14, 20825-20842.
- KAJAL V. INGALE, Y.B. KALE. 2017. ULTRASONIC HIGH VOLTAGE PULSER. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering* 5(7): 11-113.
- Marti Mamula Bergana, Kristie M. Adams, James Harnly, Jeffrey C. Moore, Zhuohong Xie. 2019. Non-targeted detection of milk powder adulteration by 1H NMR spectroscopy and conformity index analysis. *Journal of Food Composition and Analysis* 78:49–58.

- Shiuh-Chuan Her and Sheng-Tung Lin. 2014. Non-Destructive Evaluation of Depth of Surface Cracks Using Ultrasonic Frequency Analysis. *Sensors* 2014, 14, 17146-17158.
- William Nimmo, Naseef J. Ali, Rik M. Brydson, Clair Calvert, Edward Hampartsoumian, David Hind, and Steven J. Milne. 2003. Formation of Lead Zirconate Titanate Powders by Spray Pyrolysis. *J. Am. Ceram. Soc.*, 86 [9] 1474–80.
- Yasir Faheemw and M. Shoaib. 2006. Sol–Gel Processing and Characterization of Phase-Pure Lead Zirconate Titanate Nano-Powders. *J. Am. Ceram. Soc.*, 89 [6] 2034–2037.