



# Pengembangan Penganalisis Sinyal Dinamik Berbasis Labview+Arduino untuk Mengidentifikasi Karakteristik Dinamik Struktur

Development of the Dynamic Signal Analyzer Based on Labview+Arduino to Identify Structure Dynamic Characteristic

Asmara Yanto<sup>1</sup>\*, Adriyan<sup>2</sup>, Anrinal<sup>1</sup>, Rozi Saferi<sup>1</sup>

 <sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia
 <sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi Jl. Kapten Patimura No. 100, Kel. Rawasari, Kec. Alam Barajo, Jambi, Indonesia

doi.10.21063/jtm.2021.v11.i1.8-18 Correspondence should be addressed to asmarayanto@itp.ac.id Copyright © 2021 A. Yanto. This is an open access article distributed under the CC BY-NC-SA 4.0.

Article Information	Abstract
Received:	In this work, the dynamic signal analyzer (DSA) based on Labview+Arduino
March 11, 2021	has been developed. The DSA is validated to acquire and analyze vibration of two degrees of freedom (2-DOF) structure as the test rig. Vibration signal
Revised:	generated by bump test method to the test rig. Vibrations of the test rig are
April 12, 2021	measured by using micro-electro-mechanical system (MEMS)-based accelerometers. The measured vibrations are acquired and analyzed by using
Accepted:	the DSA. In the DSA is used fast Fourier transform (FFT) method to obtain
April 20, 2021	natural frequencies of the structure and half power point (HPP) method to estimate damping ratio of structure. From the testing was conducted can be
Published:	concluded that the DSA capable to determine natural frequency and damping
April 30, 2021	ratio of the 2-DOF structure. If the obtained results are compared to theoretically results, there are different results about less than 10%.

*Keywords*: dynamic signal analyzer, bump test, two degrees of freedom structure, fast Fourier transform, half power point, natural frequencies, damping ratio.

# 1. Pendahuluan

Berbagai macam fenomena fisik dapat diakuisisi datanya, misalnya getaran, temperatur, akustik, dan lain sebagainya. Bagian dari rangkaian akuisisi data yang mengkonversi fenomena fisik menjadi sinyal elektrik yang lebih mudah untuk diukur, seperti tegangan atau arus listrik adalah sensor [1]. Sensor ini merupakan bagian yang menentukan kemampuan sistem akuisisi data dalam mengukur fenomena fisik secara cermat. Setiap jenis sinyal keluaran yang dihasilkan dari sensor memiliki karakteristik sinyal yang berbedabeda. Ada 2 macam sinyal yang dan digital [2].

Sinyal analog adalah sinyal yang mana di setiap waktu terdefinisi harganya. Oleh karena itu, sinyal analog ini dapat memiliki level, frekuensi, dan bentuk sinyal yang bermacam-macam tergantung fenomena fisik yang terukur oleh sensor. Berbeda halnya dengan sinyal analog, sinyal digital tidak memiliki harga tertentu pada setiap waktu. Sinyal digital hanya memiliki 2 macam karakteristik, yaitu kondisi (*state*) dan rentang pengulangan (*rate*). *State* pada sinyal digital sebenarnya secara tidak langsung mencerminkan level sinyal, akan tetapi hanya saja level yang dimiliki terbatas pada dua kondisi, yaitu *on-off* atau tinggi-rendah. State

pada sinyal digital biasa digunakan untuk memonitor kondisi saklar yang mati atau hidup. Sementara *rate* pada sinyal digital biasa digunakan untuk mengukur seberapa cepat poros motor listrik berputar [3]. *Rate* berbeda dengan frekuensi. *Rate* mengukur seberapa sering porsi dari sinyal digital terjadi, sedangkan frekuensi tidak bisa langsung diukur, frekuensi dapat diketahui dari algoritma matematik yang disebut dengan transformasi Fourier [4-5].

Dalam dunia industri modern, terutama industri yang memproduksi suatu produk, kondisi mesinmesin dan struktur-struktur penunjang yang ada sangat mempengaruhi keseluruhan aspek produksi. Mesin-mesin dan struktur-struktur penunjang ini membutuhkan perawatan agar dapat dipergunakan semaksimal mungkin. Perawatan prediktif berbasis pemantauan sinyal mekanis secara berkala sudah dikenal secara luas oleh masyarakat industri. Perawatan prediktif ini jika dibandingkan dengan dua metode perawatan lainnya yaitu perawatan preventif dan *run to break down* menjanjikan adanya penghematan biaya perawatan [6-7].

perawatan Jenis prediktif yang terus dikembangkan adalah perawatan prediktif berbasis sinyal mekanis yang diperoleh dengan melakukan pengukuran besaran-besaran mekanis pada mesin dan struktur [8-9]. Pada umumnya sinyal mekanis merupakan sinyal dinamik seperti getaran sehingga dengan metode perawatan ini dibutuhkan instrumen penganalisis sinyal dinamik (dynamic signal analyzer atau DSA) [10-11] untuk mengakuisisi dan menganalisis sinyal getaran tersebut. Akan tetapi, ketersediaan DSA ini di pasaran terbatas pada fungsi dan spesifikasi tertentu dan berharga tinggi. Sebagai contoh dapat dilihat pada spesifikasi dan harga dari DSA SR785 [12], DSA Packard 3562A [13], DSA BK Precision 265xA [14] dan DSA Fluke810 [15].

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketersedian DSA ini adalah dengan mengembangkan DSA berbasis komputer. Sistem akuisisi data dengan menggunakan DSA berbasis komputer pada umumnya terdiri dari beberapa komponen penyusun, yaitu transduser/ sensor, pengkondisi sinyal, perangkat keras akuisisi data dan komputer [16]. Pengolahan data digital dengan DSA sering dilakukan dengan menambahkan windowing, dan averaging [17-18]. Windowing adalah proses pembobotan sinyal domain waktu dengan suatu fungsi yang bertujuan agar sinyal menjadi periodik. Hal ini dilakukan untuk mencegah kebocoran sinyal yang menyebabkan kesalahan pada data domain frekuensi yang dihasilkan. Averaging merupakan proses perata-rataan nilai

dari suatu pengukuran untuk meminimalkan pengaruh sinyal pengganggu terhadap sinyal yang diukur. Melalui proses ini diharapkan sinyal-sinyal pengganggu yang sifatnya random dan tidak memiliki keterulangan yang tinggi dapat dieliminasi. Proses perata-rataan ini dapat dilakukan dalam domain waktu maupun domain frekuensi.

Berdasarkan uraian di atas, ketersediaan DSA dalam kegiatan perawatan prediktif sangatlah penting seperti pada kegiatan pengukuran getaran struktur. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan DSA berbasis komputer. Di sini, DSA yang dikembangkan berbasis LabView+Arduino. Pada DSA ini dimuat algoritma transformasi Fourier [4-5], windowing, dan averaging [17-18] untuk memperoleh spektrum getaran stuktur agar dapat diketahui frekuensi natural dari struktur dan memuat metode half power point [19] untuk memprediksi rasio redaman struktur. DSA ini divalidasi pada kegiatan pengukuran fungsi respon frekuensi (FRF) sebuah model struktur dua derajat kebebasan.

## 2. Metode

Dalam mengembangan *DSA* berbasis LabView+Arduinio ini, terlebih dahulu dilakukan tahapan persiapan, yaitu:

- Instalasi perangkat lunak LabVIEW.
- Mempelajari perangkat keras pengakuisisi data.
- Pengumpulan informasi tentang teori akuisisi data.
- Pengumpulan informasi pengolahan data digital.
- Membangun simulator pembangkit sinyal mekanis di mana sinyal yang dihasilkan merupakan model-model sinyal mekanis.

Setelah tahapan persiapan, kemudian dilakukan kegitan mendisain, membangun, dan menvalidasi modul-modul *DSA*. *DSA* ini dapat dibagi menjadi 3 modul utama, yaitu:

- 1. Modul pengatur akuisisi data perangkat keras (pengatur DAQ) yang terdiri atas:
  - Hardware Setup
  - Measurement Setup
- 2. Modul pengolah dan penampil data hasil akuisisi yang terdiri atas:
  - Pengolah Waveform Data
  - Pengolah Spectrum Data
  - Penampil (*display*) Data
- 3. Modul *file utility* yang terdiri atas:
  - Save Data
  - Save Instrument State
  - Recall Data
  - Load Instrument State



Gambar 1. Tahapan untuk mewujudkan DSA

Tahapan untuk mewujudkan *DSA* ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1. Masukan dalam membangun *DSA* ini adalah modelmodel sinyal mekanis yang mungkin terjadi pada mesin-mesin dan struktur. Model-model sinyal mekanis ini menjadi sinyal uji pada kegiatan akuisisi dan análisis sinyal oleh *DSA*. Hasil analisis adalah merupakan prediksi dari kondisi mesin dan struktur yang sebelumnya telah dimodelkan dengan keadaan tertentu. Hasil prediksi ini merupakan hasil prediksi tersimulasi.

Selanjutnya, sinyal mekanis yang dianalisis bukanlah dari model simulasi, akan tetapi dikembangkan dalam bentuk sinyal mekanis yang terukur pada beberapa prototipe mesin dan struktur. Khusus pada makalah ini, yang dipaparkan adalah salah satu validasi *DSA* pada pengukuran FRF model struktur dua derajat kebebasan (*two degrees of freedom* (2-DOF)).

#### A. Analisis Teoritis Struktur 2-DOF

Sebuah struktur dua lantai dapat dimodelkan sebagai *shear building* yang mempunyai 2 (dua) buah derajat kebebasan (2-*DOF*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2, dan Gambar 3 merupakan model *multimass spring* 2 *DOF*, serta Gambar 4 adalah diagram benda bebasnya.

Model struktur 2-DOF terdiri atas 2 (dua) buah massa yaitu massa Massa-A dan Massa-B. Kedua buah massa ini terbuat dari besi pelat dengan panjang 300 mm, lebar 300 mm dan tebal 5 mm. Massa-A dihubungkan oleh 4 (empat) buah besi strip ke Massa-B, dan Massa B dihubungkan oleh 4 buah besi strip ke tumpuan. Besi strip ini mempunyai panjang 395 mm, lebar 20 mm dan tebal 3 mm, Model struktur 2 - DOFdivariasikan dengan menambahkan massa tambahan  $(m_t)$ . Pada model pertama  $m_t$  ditambahkan pada Massa-A dan pada model kedua  $m_t$  ditambahkan pada Massa-B.

Variabel pada analisis struktur secara teoritis yang digunakan, yaitu:

- $m_1 \operatorname{dan} m_2$  adalah massa#1 dan massa#2
- $k_{l1}$  dan  $k_{r1}$  adalah kekakuan tiang massa#1



Gambar 2. Getaran struktur shear building model 2-DOF



Gambar 3. Model multimass-spring 2-DOF



Gambar 4. Diagram Benda Bebas 2-DOF

- $k_{l2}$  dan  $k_{r2}$  adalah kekakuan tiang massa#2
- $c_1 \operatorname{dan} c_2 \operatorname{adalah} \operatorname{redaman} \#1 \operatorname{dan} \operatorname{redaman} \#2$
- $f_1(t)$  dan  $f_2(t)$  adalah gaya eksitasi pada massa#1 dan massa#2
- $x_1(t) \operatorname{dan} x_2(t)$  adalah getaran massa#1 dan massa#2
- $\dot{x}_1(t)$  dan  $\dot{x}_2(t)$  adalah kecepatan getaran massa#1 dan massa#2
- $\ddot{x}_1(t)$  dan  $\ddot{x}_2(t)$  adalah percepatan getaran massa#1 dan massa#2

Persamaan diferensial gerak (*Differential Equations of Motion* atau *DEM*) sistem untuk diagram benda bebas pada Gambar 6 dapat ditulis dengan

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + c_1 \cdot \dot{x}_1 - c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + (k_{l1} - k_{r1}) x_1 -(k_{l2} + k_{r2}) (x_1 - x_2) = f_1(t) \qquad \dots (1)$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + (k_{l2} + k_{r2})(x_1 - x_2) = f_2(t) \qquad \dots (2)$$

Sehingga matriks *DEM* dapat ditulis dalam bentuk

$$\begin{bmatrix} m_{1} & 0 \\ 0 & m_{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_{1} \\ \ddot{x}_{2} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_{1} + c_{2} & -c_{2} \\ -c_{2} & c_{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x}_{1} \\ \dot{x}_{2} \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} (k_{l_{1}} + k_{r_{1}}) + (k_{l_{2}} + k_{r_{2}}) & -(k_{l_{2}} + (k_{r_{2}}) \\ -(k_{l_{2}} + (k_{r_{2}}) & (k_{l_{2}} + (k_{r_{2}}) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{1} \\ x_{2} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{cases} f_{1}(t) \\ f_{2}(t) \end{cases}$$

$$(3)$$

Frekuensi natural dan modus getar model shear building dapat dipecahkan dengan menggunakan persamaan getaran bebas dengan cara vektor gaya pada persamaan berikut

$$[M]{\ddot{x}} + [K]{x} = 0 \qquad \dots (4)$$

di mana [M] adalah matriks massa,  $\{\ddot{x}\}$  adalah matriks vektor percepatan getaran, [K] adalah matriks kekakuan dan  $\{x\}$  adalah matriks vektor perpindahan.

Untuk getaran bebas struktur tanpa redaman, solusi gerak harmonik umum (Persamaan (5)) dapat digunakan

$$\{x\} = \{X\}\sin(\omega t) \qquad \dots (5)$$

di mana X adalah amplitudo getaran,  $\omega$  adalah frekuensi dan  $\varphi$  adalah sudut fase.

Subsitusi Persamaan (5) ke Persamaan (4) menghasilkan

$$\left| \left[ K \right] - \omega^2 \left[ M \right] \right| = 0 \qquad \dots \tag{6}$$

Penyelesaian harga  $\omega^2$  pada Persamaan (6) dan harga X pada Persamaan (5) dapat menggunakan solusi *eigen value* dan *eigen vector* [20].

#### B. Validasi DSA dengan Pengukuran FRF Struktur 2-DOF

Struktur uji 2-DOF secara eksperimental dengan massa tambahan  $(m_t)$  di Massa-A yang dinamai dengan Model MA ditunjukkan oleh Gambar 5(a) dan untuk struktur uji 2-DOFdengan  $m_t$  di Massa-B yang dinamai dengan Model MB ditunjukkan oleh Gambar 5(b). Variasi pengujian dilakukan sebanyak 4 (empat) macam pengujian dengan perulangan pengambilan data masing-masing sebanyak 5 (lima) kali. Diagram penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6. *Setup* pengujian untuk memvalidasi *DSA* diperlihatkan pada Gambar 7 dengan skema pengujian FRF struktur 2-DOFdiperlihatkan oleh Gambar 8.

Metode pengambilan data getaran struktur 2-DOF pada penelitian ini adalah dengan metode *bump test*, yaitu pengujian getaran struktur dilakukan dengan mengeksitasi struktur secara tiba-tiba dan sesaat. Pengujian dengan posisi  $m_t$  dan *bump test* di Massa-A dinamai dengan MAPA, pengujian dengan posisi  $m_t$  di Massa-A dan *bump test* di Massa-B dinamai dengan MAPB, pengujian dengan posisi  $m_t$  di Massa-B dan *bump test* di Massa-A dinamai dengan MBPA dan pengujian dengan posisi  $m_t$  dan *bump test* di Massa-B dinamai dengan MBPA dan pengujian dengan posisi  $m_t$  dan *bump test* di Massa-B dinamai dengan MBPA.



Gambar 5. Model struktur 2-DOF secara teoritis dengan massa tambahan  $m_t$ 



Gambar 6. Diagram alir validasi *DSA* pada pengujian FRF struktur 2-*DOF*.



Gambar 7. Setup pengujian FRF struktur 2-DOF dalam rangka memvalidasi DSA yang dikembangkan.



Gambar 8. Skema pengujian FRF struktur 2-DOF dalam rangka memvalidasi *DSA* yang dikembangkan. (a) Model uji MAPA, (b) Model uji MAPB, (c) Model uji MBPA dan (d) Model uji MBPB

#### C. Metode Half Powwer Point (HPP)

*HPP* digunakan untuk mentransfer plot FRF untuk mendapatkan frekuensi pribadi  $f_n$ , dan rasio redaman  $\zeta$ . Pada metode ini, terlebih dahulu ditentukan harga Q, yaitu sebesar

$$Q = \frac{A}{\sqrt{2}} \qquad \dots (7)$$

di mana *A* adalah harga puncak spektrum getaran.

Frekuensi di Q adalah  $f_a$  dan  $f_b$  yang berada sebelum dan sesudah frekuensi puncak (f) yang akan digunakan untuk menetukan half power points, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Kemudian rasio redaman ( $\zeta$ ) diperoleh dengan menggunakan



#### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis getaran struktur 2-DOF secara teoritis diperlihatkan pada Tabel 1 dan hasil

analisis secara eksperimental dengan menggunakan *DSA* yang dikembangkan ini diperlihatkan pada Gambar 10-14 dan Tabel 2-9.



Pada Gambar 14-17 diperlihatkan hasil validasi DSA. Untuk model uji MAPA dengan data getaran dari sensor-A diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,4602 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar 0,0107 dan  $f_{n2}$  sebesar 10,9273 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$  sebesar 0,0043. Perbedaan harga  $f_{n1}$ dan  $f_{n2}$  dari analisis dengan DSA secara eksperimen terhadap harga teoritisnya pada model uji MAPA ini adalah sebesar 8,18% dan 2,45%. Sedangkan untuk model uji MAPA dengan data getaran dari sensor-B diperoleh  $f_{n1}$ sebesar 3,4603 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$ sebesar 0,0107 dan  $f_{n2}$  sebesar 10,9243 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$  sebesar 0,0040. Sehingga perbedaan harga  $f_{n1}$  dan  $f_{n2}$  terhadap teoritis yang didapatkan adalah 8,17% dan 2,48%.



Gambar 10. Sinyal getaran sensor A dan B serta spektum getaran struktur 2-DOF pada model uji MAPA No.1

#### Tabel 2. Hasil analisis model uji MAPA; data getaran dari sensor di Massa-A

Pengujian	No	_						Se	ensor A						
rengujian	NU	f_1	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q2	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	$\zeta_1$	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,4230	6,9000	4,8790	3,3990	3,4530	10,8800	3,2550	2,3016	10,7900	10,9000	0,0079	0,0051	3,4503	10,9354
	2	3,4230	4,4060	3,1155	3,3990	3,4770	10,8800	3,6630	2,5901	10,8300	10,9200	0,0114	0,0041	3,4627	10,9253
MAPA	3	3,4230	4,4690	3,1601	3,4000	3,4770	10,8800	5,7850	4,0906	10,8300	10,9200	0,0112	0,0041	3,4622	10,9253
	4	3,4230	4,8230	3,4104	3,4000	3,4740	10,8800	3,9860	2,8185	10,8300	10,9100	0,0108	0,0037	3,4606	10,9202
	5	3,4230	3,9290	2,7782	3,4000	3,4830	10,8800	4,1540	2,9373	10,8300	10,9300	0,0121	0,0046	3,4653	10,9303
Rata-rat	a	3,4230			3,3996	3,4728	10,8800			10,8220	10,9160	0,0107	0,0043	3,4602	10,9273

Tabel 3. Hasil analisis model uji MAPA; data getaran dari sensor di Mass	ı-B
--	-----

Donguijan	No							Sens	or B						
Pengujian	NU	f_1	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	$\zeta_1$	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,4230	11,8200	8,3580	3,3990	3,4530	10,8800	1,4990	1,0600	10,8000	10,9000	0,0079	0,0046	3,4503	10,9303
	2	3,4230	7,5960	5,3712	3,3990	3,4770	10,8800	1,6020	1,1328	10,8500	10,9100	0,0114	0,0028	3,4627	10,9101
MAPA	3	3,4230	7,6710	5,4242	3,4000	3,4770	10,8800	2,5690	1,8166	10,8300	10,9200	0,0112	0,0041	3,4622	10,9253
	4	3,4230	8,2790	5,8541	3,4000	3,4750	10,8800	1,7770	1,2565	10,8300	10,9200	0,0110	0,0041	3,4611	10,9253
	5	3,4230	6,7730	4,7892	3,4000	3,4830	10,8800	1,8230	1,2891	10,8400	10,9400	0,0121	0,0046	3,4653	10,9303
Rata-rat	a	3,4230			3,3996	3,4730	10,8800			10,8300	10,9180	0,0107	0,0040	3,4603	10,9243



Gambar 11. Sinyal getaran sensor A dan B serta spektum getaran struktur 2-DOF pada model uji MAPB No.1

Tabel 4. Hasil analisis	pengujian MAPB	; data getaran	dari sensor	di Massa-A
-------------------------	----------------	----------------	-------------	------------

Donguijan	No							Se	nsor A						
rengujian	NU	f <sub>1</sub>	A1	$Q_1$	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	ζı	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,4230	3,5390	2,5025	3,3990	3,4840	10,8800	7,1730	5,0721	10,8300	10,9400	0,0124	0,0051	3,4663	10,9354
	2	3,4270	3,6560	2,5852	3,4020	3,4810	10,8900	11,9300	8,4358	10,8200	10,9400	0,0115	0,0055	3,4672	10,9505
МАРВ	3	3,4230	4,3070	3,0455	3,3990	3,4720	10,8800	9,8470	6,9629	10,8100	10,9100	0,0107	0,0046	3,4601	10,9303
	4	3,4230	4,8230	3,4104	3,3980	3,4650	10,8800	9,8040	6,9325	10,8000	10,9100	0,0098	0,0051	3,4570	10,9354
	5	3,4230	4,4750	3,1643	3,3980	3,4700	10,8800	9,9750	7,0534	10,8100	10,9100	0,0105	0,0046	3,4596	10,9303
Rata-rat	a	3,4238			3,3992	3,4744	10,8820			10,8140	10,9220	0,0110	0,0050	3,4620	10,9364

Tabel 5. Hasil analisis model uji MAPB; data getaran dari sensor di Massa-B

Ponguijan	No	Io														
rengujian	NU	f <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	$\zeta_1$	ζ2	f <sub>n1</sub>	<b>f</b> <sub>n2</sub>	
	1	3,4230	6,0120	4,2511	3,3990	3,4850	10,8800	3,1580	2,2330	10,8300	10,9400	0,0126	0,0051	3,4668	10,9354	
_	2	3,4270	6,3020	4,4562	3,4030	3,4810	10,8900	5,1960	3,6741	10,8200	10,9400	0,0114	0,0055	3,4667	10,9505	
MAPB	3	3,4230	7,3720	5,2128	3,3990	3,4730	10,8800	4,2810	3,0271	10,8100	10,9100	0,0108	0,0046	3,4606	10,9303	
	4	3,4230	8,2820	5,8563	3,3980	3,4660	10,8800	4,2940	3,0363	10,8000	10,9100	0,0099	0,0051	3,4575	10,9354	
	5	3,4230	7,6810	5,4313	3,3990	3,4710	10,8800	4,3550	3,0795	10,8100	10,9100	0,0105	0,0046	3,4596	10,9303	
Rata-rat	ta	3,4238			3,3996	3,4752	10,8820			10,8140	10,9220	0,0110	0,0050	3,4622	10,9364	



Gambar 12. Sinyal getaran sensor A dan B serta spektum getaran struktur 2-DOF pada model uji MBPA No.1

			Tab	el 6. Ha	sil anal	isis mo	del uji M	BPA; da	ita getar	an dari s	ensor di	Massa-A	A		
Donguijan	No							Se	nsor A						
Pengujian	NO	f <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	ζı	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,7040	5,4520	3,8551	3,6790	3,7600	10,1300	6,1950	4,3805	10,0700	10,1600	0,0109	0,0044	3,7452	10,1753
	2	3,7050	7,0620	4,9936	3,6790	3,7460	10,1300	5,3310	3,7696	10,0600	10,1600	0,0090	0,0049	3,7390	10,1804
MBPA	3	3,7040	5,4600	3,8608	3,6790	3,7600	10,1300	6,0340	4,2667	10,0700	10,1600	0,0109	0,0044	3,7452	10,1753
	4	3,7040	6,9880	4,9413	3,6790	3,7460	10,1300	5,1810	3,6635	10,0600	10,1600	0,0090	0,0049	3,7380	10,1804
	5	3,7040	7,2470	5,1244	3,6790	3,7440	10,1300	4,7050	3,3269	10,0600	10,1500	0,0088	0,0044	3,7369	10,1753
Rata-rat	а	3,7042			3,6790	3,7512	10,1300			10,0640	10,1580	0,0097	0,0046	3,7408	10,1773

Tabel 7. Hasil analisis model uji	i MBPA; data getaran	dari sensor di Massa-B
-----------------------------------	----------------------	------------------------

Bonguijan	No							Sens	or B						
rengujian	NU	f <sub>1</sub>	A1	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	ζı	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,7040	8,4990	6,0097	3,6790	3,7590	10,1300	6,0800	4,2992	10,0700	10,1700	0,0108	0,0049	3,7447	10,1804
_	2	3,7050	10,9700	7,7570	3,6790	3,7450	10,1300	5,2570	3,7173	10,0600	10,1600	0,0089	0,0049	3,7384	10,1804
MBPA	3	3,7040	8,5070	6,0154	3,6790	3,7590	10,1300	5,9870	4,2334	10,0700	10,1700	0,0108	0,0049	3,7447	10,1804
	4	3,7040	10,8500	7,6721	3,6790	3,7640	10,1300	5,1170	3,6183	10,0600	10,1600	0,0115	0,0049	3,7472	10,1804
	5	3,7040	11,2800	7,9762	3,6790	3,7440	10,1300	4,6710	3,3029	10,0700	10,1600	0,0088	0,0044	3,7369	10,1753
Rata-rat	a	3,7042			3,6790	3,7542	10,1300			10,0660	10,1640	0,0102	0,0048	3,7424	10,1794



Gambar 13. Sinyal getaran sensor A dan B serta spektum getaran struktur 2-DOF pada model uji MBPB No.1

Tabel 8. Hasil analisis model uji MBPB; data	getaran dari sensor di Massa-A
--	--------------------------------

Ponguijan	No							Se	nsor A						
rengujian	NU	f <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q2	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	ζ1	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
	1	3,7040	6,1800	4,3699	3,6790	3,7520	10,1300	6,4350	4,5502	10,0600	10,1600	0,0099	0,0049	3,7410	10,1804
	2	3,7050	4,3580	3,0816	3,6790	3,7680	10,1300	6,2380	4,4109	10,0600	10,1900	0,0120	0,0064	3,7503	10,1956
MBPB	3	3,7040	4,4830	3,1700	3,6780	3,7670	10,1300	6,6190	4,6803	10,0700	10,1800	0,0120	0,0054	3,7493	10,1855
	4	3,7040	6,0160	4,2540	3,6790	3,7570	10,1300	5,0020	3,5369	10,0700	10,1600	0,0105	0,0044	3,7436	10,1753
-	5	3,7040	4,5970	3,2506	3,6800	3,7650	10,1300	7,2250	5,1088	10,0700	10,1800	0,0115	0,0054	3,7472	10,1855
Rata-rat	a	3,7042			3,6790	3,7618	10,1300			10,0660	10,1740	0,0112	0,0053	3,7463	10,1844

Tabel 9. Hasil analisis model	uji MBPB; data getaran	dari sensor di Massa-B
-------------------------------	------------------------	------------------------

Pengujian	Nof_1		Sensor B												
		f <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Q1	f <sub>a1</sub>	f <sub>b1</sub>	f <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>a2</sub>	f <sub>b2</sub>	ζ1	ζ2	f <sub>n1</sub>	f <sub>n2</sub>
MBPB	1	3,7040	9,6060	6,7925	3,6790	3,7530	10,1300	6,2600	4,4265	10,0600	10,1600	0,0100	0,0049	3,7416	10,1804
	2	3,7050	6,7380	4,7645	3,6790	3,7690	10,1300	6,0800	4,2992	10,0700	10,1800	0,0121	0,0054	3,7508	10,1855
	3	3,7040	6,9990	4,9490	3,6790	3,7670	10,1300	6,4420	4,5552	10,0700	10,1800	0,0119	0,0054	3,7488	10,1855
	4	3,7040	9,3120	6,5846	3,6800	3,7550	10,1300	4,8470	3,4273	10,0700	10,1600	0,0101	0,0044	3,7421	10,1753
	5	3,7040	7,0080	4,9554	3,6800	3,7660	10,1300	7,0770	5,0042	10,0700	10,1700	0,0116	0,0049	3,7478	10,1804
Rata-rat	a	3,7042			3 <i>,</i> 6794	3,7620	10,1300			10,0680	10,1700	0,0111	0,0050	3,7462	10,1814



Gambar 14. Grafik perbandingan frekuensi natural  $(f_n)$  untuk model uji MAPA dan MAPB



Gambar 15. Grafik perbandingan rasio redaman ( $\zeta$ ) untuk model uji MAPA dan MAPB

Tabel 10.	Perbedaan harga $f_n$ dari analisis dengan DSA
	secara eksperimen terhadap harga teoritisnya
	pada pengujian MAPA dan MAPB

	Senso	or di A	Sensor di B			
pengujian-	<b>f</b> <sub>n1</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n2</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n1</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n2</sub> (%)		
MAPA	8,18	2,45	8,17	2,48		
MAPB	8,13	2,37	8,12	2,37		

Kemudian untuk model uji MAPB dengan sensor di A diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,4620 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar 0,0110 dan  $f_{n2}$ sebesar 10,9364 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$ sebesar 0,0050. Perbedaan harga  $f_{n1}$  dan  $f_{n2}$  dari analisis dengan DSA secara eksperimen terhadap harga teoritisnya pada model uji ini adalah 8,13%, dan 2,37%. MAPA Sedangkan untuk model uji MAPB dengan sensor di B diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,4622 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar 0,0110 dan  $f_{n2}$ sebesar 10,9364 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$ sebesar 0,0050. Sehingga perbedaan harga  $f_{n1}$ dan  $f_{n2}$  terhadap teoritis yang didapatkan adalah 8,12% dan 2,37%. Perbedaan harga  $f_n$  melalui analisis dengan DSA terhadap harga teoritisnya dengan model uji MAPA dan MAPB secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 10.



Gambar 16. Grafik perbandingan frekuensi natural  $(f_n)$  untuk model uji MBPA dan MBPB



Gambar 17. Grafik perbandingan rasio redaman ( $\zeta$ ) untuk model uji MBPA dan MBPB

Tabel 11.	Perbedaan harga $f_n$ dari analisis dengan DSA
	secara eksperimen terhadap harga teoritisnya
	pada pengujian MBPA dan MBPB

Penguijan	Senso	r di A	Sensor di B			
r engajtan-	<b>f</b> <sub>n1</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n2</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n1</sub> (%)	<b>f</b> <sub>n2</sub> (%)		
MBPA	2,04	6,82	2,00	6,80		
MBPB	1,90	6,76	1,90	6,78		

Selanjutnya pada Gambar 12 dan 13 dapat dilihat bahwa untuk model uji MBPA dengan data getaran dari sensor-A diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,7408 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar  $0,0097 \operatorname{dan} f_{n2}$  sebesar 10,1773 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$  sebesar 0,0046. Perbedaan harga  $f_{n1}$ dan  $f_{n2}$  dari analisis dengan DSA secara eksperimen terhadap harga teoritisnya pada model uji MBPA ini adalah sebesar 2,04% dan 6,82%. Sedangkan untuk model uji MBPA dengan data getaran dari sensor-B diperoleh  $f_{n1}$ sebesar 3,7424 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$ sebesar 0,0102 dan  $f_{n2}$  sebesar 10,1794 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$  sebesar 0,0048. Sehingga perbedaan harga  $f_{n1}$  dan  $f_{n2}$  terhadap teoritis yang didapatkan adalah 2,00% dan 6,80%.

Berikutnya untuk model uji MBPB dengan sensor di A diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,7463 Hz

dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar 0,0112 dan  $f_{n2}$ sebesar 10,1844 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$ sebesar 0,0053. Perbedaan harga  $f_{n1}$  dan  $f_{n2}$  dari analisis dengan *DSA* secara eksperimen terhadap harga teoritisnya pada model uji MBPA ini adalah 1,90%, dan 6,76%. Sedangkan untuk model uji MBPB dengan sensor di B diperoleh  $f_{n1}$  sebesar 3,7462 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_1$  sebesar 0,0111 dan  $f_{n2}$ sebesar 10,1814 Hz dengan rasio redaman  $\zeta_2$ sebesar 0,0050. Sehingga perbedaan harga  $f_{n1}$ dan  $f_{n2}$  terhadap teoritis yang didapatkan adalah 1,90% dan 6,78%.

Perbedaan harga  $f_n$  melalui analisis dengan DSA terhadap harga teoritisnya dengan model uji MBPA dan MBPB secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 11.

## 4. Simpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Telah berhasil dikembangkan sebuah *DSA* berbasis LabVIEW+Arduino yang dapat dipergunakan dalam kegiatan akuisisi dan pengolahan data digital.
- *DSA* yang dikembangkan ini telah divalidasi pada pengukuran FRF struktur 2-*DOF*.
- Melalui pengukuran FRF struktur 2-DOF dengan menggunakan DSA ini, diperoleh frekuensi natural struktur dengan perbedaan kurang 10% dari harga teoritisnya.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mitra bebestari yang telah menelaah artikel ini secara *blind review*.

## Referensi

- K. Khairunnisa dan Y. Indrasary, "Simulasi Akuisisi Data Sinyal Audio," SimanteC., vol. 5, no. 2, pp. 75–84, 2016.
- [2] Z. Budiarso dan A. Prihandono, "Implementasi Sensor Ultrasonik Untuk Mengukur Panjang Gelombang Suara Berbasis Mikrokontroler," SimanteC., vol. 20, no. 2, pp. 171–177, 2015.
- [3] M. El-Saba, "Fundamentals of Analog & Digital Signal Processing", Hakim Press, Cairo, 2015.
- [4] D.T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," PETIR: Jurnal Pengkajian dan Penerapan

Teknik Informatika, vol. 14, no.1, 2021, pp. 28-35.

- [5] E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics," 9th Edition, New York: John Wiley & Sons Inc., 2006.
- [6] C.M. Harris and A.G. Piersol, "Harris's shock Vibration Handbook, 6<sup>th</sup>edition, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [7] L.R. Higgins, K.R. Mobley and R. Smith, Maintenance Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [8] A. Yanto, A. Anrinal, R. Saferi and Z. Memori, "Study of Experimental Vibration Due to Misalignment of Pulley-Belt in Rotary Machine," Jurnal Teknik Mesin, vol.20, no.2, 2020, pp. 118-122.
- [9] A. Yanto, Z. Abidin, A. Anrinal and R. Saferi, "An Approach for The Condition Monitoring of Rotating Machinery," in Proc. The First International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS), 2016, pp. 219-224.
- [10] A. Yanto "The Experimental Study of Vibration of the Shaft-Rotor System Due to Imbalance," Jurnal Teknik Mesin, vol.7, no.2, 2017, pp. 88-94.
- [11] A. Yanto, A. Anrinal dan R.A. Pratama "A Simple Dynamic Signal Analyzer Virtual Instrument To Monitoring and Control Airflow Temperature," Jurnal Teknik Mesin, vol.6, no.2, 2016, pp. 80-85.
- [12] Stanford Research Systems Inc., "Model SR785 Dynamic Signal Analyzer-Operating Manual and Programming Reference," Stanford Research Systems, Inc., Sunnyvale, California, 2017.
- [13] Fotronic Corp., "Packard 3562A Dual-Channel, Dynamic Signal Analyzer 64 μHz to 100 kHz," Available: https://www.testequipmentdepot.com/use dequipment/hewlettpackard/spectrumanal yzers/3562a.htm
- B&K Precision Corp., "Product Manual Downloads (English), " Available: https://www.bkprecision.com/support/do wnloads/manuals.html
- [15] Fluke Corp., "810 Vibration Tester," 2010.

Available: https://www.instrumart.com/assets/Fluke -810-Vibration-Tester-Manual.pdf

- [16] Measurement Computing Corporation,
   "Signal Conditioning Fundamentals for PC-Based Data Acquisition Handbook,"
   3<sup>th</sup> Edition, USA., 2012.
- [17] D.J. Jwo 1, W.Y. Chang and I.H. Wu, "Windowing Techniques, the Welch Method for Improvement of Power Spectrum Estimation," Computers, Materials & Continua, vol. 67, no. 3, 2021, pp. 3983–4003.
- [18] U. Hassan and S. Anwar, "Reducing noise by repetition: Introduction to signal averaging," European Journal of Physics, vol. 31, no. 3, SP: 453.
- [19] G.A. Papagiannopoulos and G. Hatzigeorgiou, "On the use of the halfpower bandwidth method to estimate damping in building structures," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 31, no.7, 2011. pp. 1075-1079
- [20] A. Jmali, "Study on eigen values and eigen vectors of matrices: An iterative approach," GANIT J. Bangladesh Math. Soc., vol. 37, 2017, pp. 39-50.