

Rancang Bangun Sistem Pengukuran Frekuensi Getaran Akustik Berbasis *Directional Coupler* Serat Optik

Reforma Lopa*, Harmadi

Laboratorium Fisika Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 29 Januari 2022
Direvisi: 8 Februari 2022
Diterima: 11 Februari 2022

Kata kunci:

directional coupler
frekuensi
getaran akustik
serat optik

Keywords:

acoustic vibration
directional coupler
fiber optic
frequency

Penulis Korespondensi:

Reforma Lopa
Email: silopa49@gmail.com

ABSTRAK

Telah dirancang bangun sistem pengukuran frekuensi getaran akustik berbasis *directional coupler* serat optik. Sensor serat optik berbasis *directional coupler* serat optik dibuat sendiri dengan tiga variasi panjang kupasan dan dipilih berdasarkan nilai *coupling ratio*. Sistem pengukuran terdiri dari sumber cahaya dioda laser dengan panjang gelombang 532 nm, serat optik FD-620-10 terkopel, fotodioda OPT101 sebagai detektor, *pre-amplifier* BC547 sebagai pengkondisi sinyal, mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengolah sinyal dan LCD sebagai *output* visual hasil pengukuran. Mikrokontroler Arduino UNO menghitung jumlah cacahan perubahan tegangan keluaran fotodioda OPT101 yang telah dikondisikan pada rangkaian *pre-amplifier*. Tampilan pada LCD digunakan untuk mengukur frekuensi getaran akustik dengan mendeteksi perubahan tegangan keluaran fotodioda OPT101. Perubahan terjadi akibat pergeseran posisi sumber getaran terhadap serat optik. Sumber getaran berupa *speaker* piezoelektrik yang dibangkitkan dengan *function generator*. Pengujian dan analisis data menunjukkan bahwa sistem sensor mampu mengukur frekuensi getaran akustik pada rentang 100 Hz – 40.000 Hz dengan ketelitian 99,42 %.

A fiber optic directional coupler-based acoustic vibration frequency measurement system has been designed. The fiber optic sensor based on the fiber optic directional coupler is made by itself with three variations of strip length and is selected based on the coupling ratio value. The measurement system consists of a laser diode light source with a wavelength of 532 nm, a coupled FD-620-10 optical fiber, an OPT101 photodiode as a detector, a BC547 pre-amplifier as a signal conditioner, an Arduino UNO microcontroller as a signal processor and an LCD as a visual output of measurement results. The Arduino UNO microcontroller counts the number of changes in the output voltage of the OPT101 photodiode that has been conditioned in the pre-amplifier circuit. The display on the LCD is used to measure the frequency of acoustic vibrations by detecting changes in the output voltage of the OPT101 photodiode. Changes occur due to a shift in the position of the vibration source to the optical fiber. The source of vibration is a piezoelectric speaker generated by a function generator. Testing and data analysis shows that the sensor system is able to measure the frequency of acoustic vibrations in the range of 100 Hz – 40,000 Hz with an accuracy of 99.42 %.

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Getaran adalah gerakan bolak-balik pada lintasan yang sama yang dilakukan oleh sebuah objek secara periodik menuju titik setimbang (Halliday dkk., 2011). Getaran yang umum ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah getaran akustik. Getaran akustik adalah getaran mekanik yang dihasilkan oleh gelombang yang merambat pada zat padat, cair atau gas sehingga menghasilkan suara atau bunyi. Getaran akustik dapat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan frekuensi getarnya yaitu infrasonik (< 20 Hz), sonik (20 Hz – 20 kHz) dan ultrasonik (> 20 kHz). Gelombang akustik khususnya gelombang ultrasonik dapat diaplikasikan pada sistem navigasi sonar pada kapal selam maupun ilmu kedokteran seperti sonografi medis dan terapi. Aplikasi getaran ultrasonik juga dapat digunakan pada uji kelayakan makanan dan komponen mesin (Kuttruff, 2007).

Metode pengukuran getaran dapat dilakukan secara mekanik maupun elektrik. Pengukuran dapat dilakukan dengan cara kontak langsung maupun non-kontak. Pengukuran secara kontak langsung memiliki banyak kelemahan, hal ini diakibatkan beberapa faktor seperti suhu objek yang akan diukur dan posisi objek yang sulit dijangkau (Putri dkk., 2017). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metode optik untuk melakukan pengukuran, salah satunya yaitu menggunakan serat optik.

Pembuatan sensor getaran akustik menggunakan serat optik telah banyak dilakukan sebelumnya, diantaranya oleh (Saputro dkk., 2014) telah merancang sistem sensor serat optik *multimode* untuk mengukur getaran akustik. Sistem sensor tersebut dapat mengukur getaran akustik pada rentang frekuensi 52 Hz – 360 Hz dengan tingkat ketelitian $93,58$ %. Sistem sensor ini hanya dapat mengukur getaran pada rentang frekuensi rendah. (Putri dan Harmadi, 2017) merancang sistem pengukur getaran akustik pada *speaker* piezoelektrik menggunakan sensor serat optik. Alat ini mampu mengukur getaran pada frekuensi 1.000 Hz – 40.000 Hz dengan tingkat ketelitian $99,97$ % dan jarak efektif antara elemen *speaker* dan serat optik sebesar 1 mm. Alat ini masih belum menggunakan *directional coupler* sebagai sensor serat optik, serta sistem harus mengunggah ulang *source code* pada mikrokontroler setiap frekuensi masukkan dari *function generator* diubah.

Penggunaan *directional coupler* serat optik sebagai sensor memiliki keunggulan yaitu rendahnya *insertion loss* (rugi daya saat transmisi sinyal optik) dan tingginya *return loss* (rugi daya karena adanya pantulan balik akibat diskontinuitas pada saluran transmisi) (Lee dkk., 2010). *Directional coupler* yang memiliki lebih dari satu *port* masukkan dan keluaran juga dapat dikembangkan dengan mengaplikasikan konsep *multiplexing* yaitu dapat mengirimkan lebih dari satu sinyal masukkan secara bersamaan. Sensor serat optik menggunakan *directional coupler* untuk mengukur getaran yaitu dengan menggunakan konfigurasi interferometer Michaelson. *Directional coupler* membagi berkas masukkan menjadi dua keluaran untuk membandingkan objek getar yang diukur dan objek sebagai referensi (Ferrari dan García, 1996). (Hariyanto dan Santoso, 2011) merancang sistem sensor getaran menggunakan *directional coupler* serat optik plastik *multimode* sebagai pandu gelombang dan pembagi berkas. Sensor tersebut dapat mengukur frekuensi getaran pada rentang 20 Hz – 1900 Hz dengan kesalahan rata-rata $0,6$. Sistem sensor ini hanya mengukur getaran pada rentang frekuensi sonik dan menampilkan menggunakan pencacah frekuensi.

Berdasarkan penjabaran diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan perancangan alat pengukur getaran akustik menggunakan *directional coupler* yang dibuat secara *handmade* (buatan tangan) dari bahan serat optik *multimode* menggunakan metode *fused biconical tapered*. Metode ini dilakukan dengan menyelaraskan dua atau lebih *core* serat optik dan menggabungkannya sehingga terciptanya daerah terkopel. *Directional coupler* merupakan interferometer serat optik yang banyak digunakan pada sistem sensor pengukuran jarak, pergeseran dan getaran.

Penelitian ini merancang sistem pengukuran getaran akustik menggunakan *directional coupler* sebagai media transmisi cahaya dengan konfigurasi sensor menggunakan prinsip interferometer Michaelson dan *speaker* piezoelektrik sebagai sumber getaran. Perubahan intensitas cahaya akibat getaran yang dihasilkan cermin uji kemudian dideteksi oleh fotodioda OPT101 yang sudah terhubung dengan mikrokontroler Arduino UNO. Tegangan keluaran pada fotodioda OPT101 akan diproses oleh Arduino UNO dan dikonversi menjadi nilai frekuensi untuk ditampilkan pada LCD I2C secara *real time*.

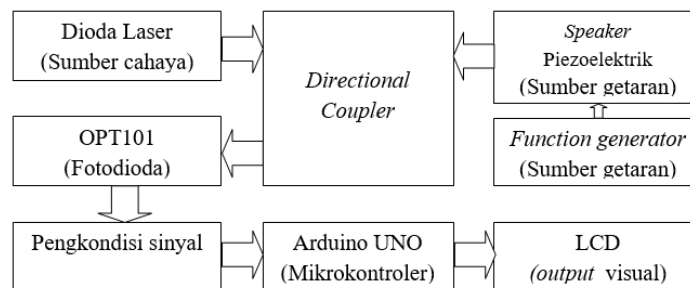
II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Alat yang digunakan dalam rancangan ini adalah BF5R-D1-N, mikroskop portable, dioda laser, fotodetektor OPT101, *speaker* piezoelektrik, *function generator*, PC dan jangka sorong. Bahan yang digunakan berupa serat optik, LCD, Arduino UNO R3, Modul BC547, *jumper*, *breadboard*, alkohol dan aluminium foil.

2.2 Perancangan Rancang Bangun Sistem

Perancangan diagram blok sistem perangkat keras, sensor getaran berbasis *directional coupler* dapat dilihat pada Gambar 1. Prinsip kerja sensor getaran menggunakan *directional coupler* yaitu perubahan intensitas cahaya akibat getaran yang dihasilkan elemen *speaker* piezoelektrik dimana perubahan posisi *speaker* akan memantulkan kembali cahaya yang masuk ke *directional coupler* melalui *port sensing*. Perubahan daya serat optik tersebut kemudian akan diteruskan dan dideteksi oleh fotodetektor OPT101 melalui *port* deteksi. Fotodetektor OPT101 yang sudah tersambung dengan mikrokontroler Arduino akan menampilkan hasil pengukuran pada LCD.



Gambar 1 Diagram blok sistem perangkat keras

Rancangan perangkat lunak sistem bertujuan untuk memproses sinyal masukan dari sensor, berupa program dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE dan menggunakan bahasa C. Program diawali dengan memanggil *library frequency counter* dan *library LCD*, lalu dilanjutkan dengan inialisasi pin-pin pada Arduino UNO. OPT 101 akan mengkonversi intensitas cahaya menjadi tegangan. Jumlah cacahan tiap detik didapatkan berdasarkan perubahan intensitas cahaya saat terjadi getaran. Waktu pencacahan sinyal digital diatur selama 1 detik dan program akan terus mencacah sinyal digital masukan sehingga diperoleh nilai frekuensi untuk kemudian ditampilkan pada LCD.

2.3 Karakterisasi Sistem Sensor Getaran Berbasis *Directional Coupler* Serat Optik

Karakterisasi sistem sensor getaran berbasis *directional coupler* serat optik meliputi pembuatan sistem sensor menggunakan dioda laser sebagai sumber cahaya, serat optik yang sebelumnya telah digandengkan sebagai media transmisi cahaya dari dioda laser, *speaker* piezoelektrik sebagai sumber getaran yang akan diukur yang telah disambungkan ke pembangkit gelombang, modul BC547 sebagai *pre-amplifier* dan OPT101 sebagai detektor cahaya laser yang telah dipandu oleh *directional coupler*. OPT 101 dihubungkan dengan pengkondisi sinyal dan disambungkan ke Arduino UNO dengan pemasangan pin Vcc ke pin 5V Arduino UNO, pin GND, -V dan COM ke pin GND Arduino UNO, pin 1M dan OUT ke pin A0 Arduino UNO.

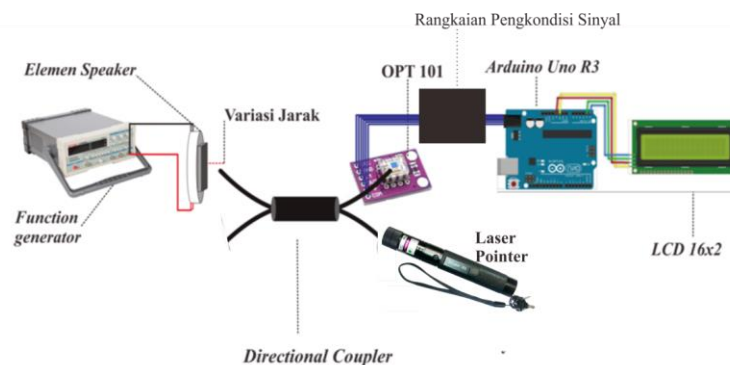
Karakterisasi sistem sensor dilakukan dengan memvariasikan jarak antara ujung serat optik dengan *speaker* piezoelektrik. Data variasi jarak antara ujung serat optik dengan elemen *speaker* dicatat. Fotodetektor akan mendeteksi perubahan intensitas cahaya akibat perubahan posisi yang disebabkan oleh getaran dari *speaker*. Tegangan keluaran fotodetektor akan diukur menggunakan multimeter dengan menggunakan multimeter digital dimana kutub (+) multimeter disambungkan ke pin A0 Arduino UNO dan kutub (-) multimeter disambungkan ke pin GND Arduino UNO. Variasi jarak yang diberikan yaitu dari 0 mm hingga 1 mm dengan beda 0,2 mm. Perubahan jarak akan menyebabkan tegangan keluaran akan bervariasi pada OPT101 akibat perubahan intensitas cahaya yang dideteksi oleh

fotodetektor OPT101. Hasil karakterisasi digunakan untuk menentukan jarak paling sensitif dalam melakukan pengukuran. Variasi yang dilakukan selanjutnya yaitu variasi frekuensi getaran untuk mengetahui daerah kerja optimal dari sistem sensor tersebut.

2.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk memastikan sistem pengukur getaran akustik berbasis *directional coupler* bekerja dengan baik. Rangkaian sistem terdiri dari *function generator* dan PC yang disusun terpisah. Proses pengukuran dilakukan dengan menghubungkan elemen *speaker* dengan *function generator* sehingga getaran pada elemen *speaker* dapat diatur. Laser dinyalakan sehingga cahaya akan merambat dan terpantul pada *speaker*. *Directional coupler* akan membagi berkas cahaya untuk dibandingkan antara getaran *speaker* dan cermin uji. Cahaya akan dipandu kembali menuju fotodetektor OPT 101 yang sudah terintegrasi dengan modul OPT dan Arduino UNO. Arduino UNO akan memproses sinyal dan menampilkan hasil pengukuran pada LCD berupa nilai frekuensi getaran.

Pengujian sensor dilakukan dengan mencatat frekuensi terukur oleh pencacah frekuensi ketika *speaker* piezoelektrik digetarkan dengan pembangkit gelombang dengan variasi frekuensi getaran. Pengamatan dilakukan sampai frekuensi yang terukur tidak memberikan respon yang diharapkan sehingga dapat diketahui daerah kerja optimal sensor getaran berbasis *directional coupler* hasil fabrikasi tersebut. Data hasil frekuensi akan diproses oleh Arduino UNO dan ditampilkan pada LCD. Rancangan fisik alat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Rancangan rangkaian sistem keseluruhan

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Fabrikasi *Directional Coupler*

Directional coupler konfigurasi 2x2 telah difabrikasi dengan metode *fused biconical tapered* dengan variasi panjang daerah kupasan 30 mm, 35 mm dan 40 mm. Proses pembuatan *coupling* dengan konfigurasi 2x2 dilakukan dengan pengupasan pada bagian *coating* nya dan *cladding*-nya dihilangkan. Proses penghilangan *cladding* dilakukan dengan cara pengamplasan secara bertahap menggunakan kertas gosok 1000 mesh untuk menghilangkan sebagian besar *cladding*, untuk mendapatkan hasil yang simetris diteruskan dengan kertas gosok mesh 1500 dan 2000. Setelah diamati menggunakan mikroskop portabel untuk melihat sisa-sisa *cladding* kemudian dipoles menggunakan aseton untuk menghilangkan residu *cladding* dan dibersihkan menggunakan alkohol. Setelah itu digunakan kertas gosok mesh 5000 untuk menghaluskan dan meratakan permukaan serat optik sehingga hanya tersisa *core* nya saja.

Serat optik yang hanya tersisa *core* kemudian diberikan cahaya laser untuk melihat kebocoran cahaya yang terjadi sepanjang daerah kupasan akibat dihilangkannya *cladding*. Hilangnya *cladding* secara otomatis mengakibatkan udara menjadi *cladding* pengganti. Hal ini menyebabkan berubahnya sudut kritis pada daerah kupasan. Perubahan bidang normal permukaan menyebabkan sudut datang cahaya terhadap bidang normal lebih kecil dari pada sudut kritisnya sehingga tidak dapat terjadinya perubahan internal total. Akibatnya cahaya akan dibiarkan keluar dari *core* sehingga terjadinya kebocoran cahaya. Serat optik yang tersisa *core*-nya saja kemudian dipasangkan dan digandengkan pada bagian kupasannya dengan cara diikat menggunakan benang jahit sepanjang daerah kupasan. Daerah penggandengan kemudian direkatkan menggunakan lem epoksi agar tidak bergeser dan diberi *casing*.

3.2 Karakterisasi *Directional Coupler*

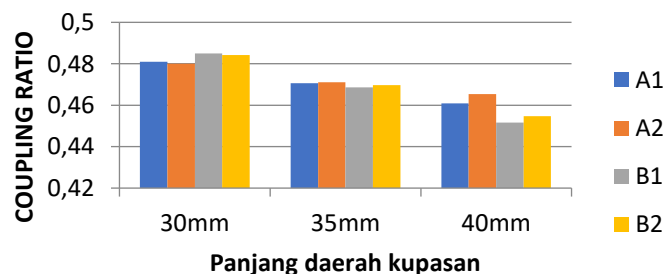
Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan BF5R-D1-N sebagai sumber cahaya sekaligus fotodetektor. Sumber cahaya dari BF5R-D1-N diukur dengan menggunakan serat optik yang tidak diberi perlakuan apapun. Pada mode sensitifitas *auto*, BF5R-D1-N menunjukkan nilai maksimum intensitas cahaya hingga 4000 au (*arbitrary unit*), kemudian diukur daya keluaran serat optik yang telah dikupas *cladding*-nya dan didapat nilai keluaran pada BF5R-D1-N sebesar 2134 au. Pengambilan data dilakukan dengan menyusun *directional coupler* yang telah dilabeli tiap *port*-nya. *Set up* pengujian *directional coupler* dilakukan dengan pengujian serat optik pertama yang dilabeli A1 sebagai masukan dan A2 sebagai keluaran, hal yang sama dilakukan pada serat optik kedua dan diberi label B1 dan B2. *Directional coupler* kemudian diberikan cahaya laser dari salah satu BF5R-D1-N dengan *port* A1 sebagai masukan sekaligus mengukur keluaran umpan balik pada *port* B1 dan keluaran pada port keluaran A2 dan B2 diukur menggunakan BF5R-D1-N lainnya.

Pengambilan data ini dilakukan dengan empat variasi kombinasi dengan port B1, A2 dan B2 sebagai *port* masukan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengambilan data menunjukkan nilai keluaran tiap-tiap *port* dan dapat ditentukan nilai *coupling ratio*, *excess loss* (Lc), *insertion loss* (Lins) dan *directivity* (D) dari tiap masukan pada variasi panjang kupasan *directional coupler*.

Tabel 1 Data intensitas pada *port* keluaran *directional coupler*

Variasi Panjang Pengupasan (mm)	Input	Daya Keluaran (au)				CR	Lc (dB)	Lins (dB)	D (dB)
		A1	A2	B1	B2				
32	A1	984	33	912	0.481013	0.074939	2.923371	17.66818	
32	A2	974	899	29	0.479979	0.066727	2.906516	18.16813	
32	B1	24	922	979	0.485008	0.054486	2.93648	19.04219	
32	B2	921	30	981	0.484227	0.067966	2.943381	18.08886	
36	A1	382	20	873	0.47062	0.046574	2.808898	19.71971	
36	A2	995	886	21	0.471026	0.048217	2.813874	19.56991	
36	B1	25	867	983	0.468649	0.058295	2.804478	18.75061	
40	B2	867	19	979	0.469664	0.044471	2.798961	19.91925	
40	A1	869	37	743	0.460918	0.098556	2.782009	16.49019	
40	A2	872	759	34	0.465359	0.089603	2.808978	16.89935	
40	B1	43	755	917	0.451555	0.110279	2.718948	16.00796	
40	B2	753	38	903	0.45471	0.098531	2.732257	16.4913	

Berdasarkan hasil karakterisasi *directional coupler* didapatkan nilai *coupling ratio* dari tiap-tiap *port* dari variasi panjang kupasan serat optik sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 3. Nilai *coupling ratio* pada grafik menunjukkan bahwa *directional coupler* dengan variasi panjang kupasan sebesar 30 mm dengan *port* B1 sebagai masukan memiliki nilai *coupling ratio* yang paling tinggi dan digunakan sebagai sensor pada sistem pengukuran.



Gambar 3 Grafik pengaruh panjang daerah kupasan terhadap nilai *coupling ratio* tiap-tiap port keluaran *directional coupler*

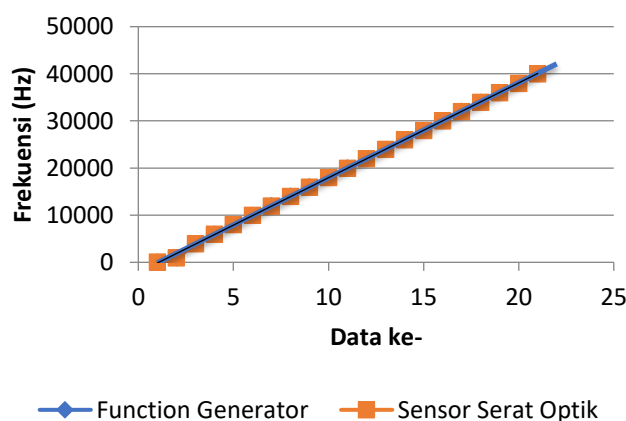
3.3 Hasil Pengujian Rancangan Alat Keseluruhan

Alat yang telah dirangkai akan diuji secara keseluruhan meliputi kinerja perangkat lunak dan keras guna mengetahui kinerja masing-masing blok pada saat dijalankan secara bersamaan. Alat ini menggunakan dioda laser sebagai sumber cahaya dengan baterai sebagai sumber tegangannya untuk dipandu menuju transmiter serat optik. Pada saat elemen *speaker* dibangkitkan menggunakan *function generator* dan diberikan frekuensi bernilai tertentu, terjadi pergeseran jarak antara elemen *speaker* dan ujung serat optik sehingga mengakibatkan intensitas cahaya yang dipantulkan elemen *speaker* menuju serat optik akan berubah-ubah. Intensitas cahaya yang berubah dideteksi oleh fotodetektor OPT101 dan mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan sehingga jumlah perubahan tegangan yang terjadi dapat dihitung menggunakan program pada *library* Arduino IDE. *Output* dari program Arduino UNO memerlukan *input* nilai masukan berupa sinyal digital yaitu keadaan *high* dan *low*, sehingga perlu dikondisikan menggunakan modul LM386 yang berfungsi menguatkan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan fotodetektor OPT101 dan diteruskan pada rangkaian *pre-amplifier* BC547 yang terhubung pada *port* 5 digital dan A0 pada Arduino.

Arduino menjalankan program sinyal masukan digital tiap detik dengan mengolah data tegangan yang didapat menggunakan kurva fungsi transfer yang didapat dari karakterisasi jarak. Program Arduino akan mencacah jumlah perubahan tegangan akibat pergeseran dengan menggunakan fungsi transfer yang didapatkan pada karakterisasi jarak efektif sensor serat optik. Data hasil pengukuran kemudian ditampilkan menggunakan LCD I2C 16x2 secara *realtime*. Pembacaan tegangan keluaran oleh fotodetektor OPT101 berdasarkan intensitas cahaya balikkan yang ditransmisikan melalui *directional coupler* sangat rentan terhadap pergeseran komponen alat pada rancangan terutama pada sudut penerimaan cahaya antara serat optik ke fotodetektor OPT101 dan serat optik ke elemen *speaker* sehingga dibutuhkan desain alat yang lebih kokoh agar tidak mengurangi akurasi pengukuran.

3.4 Hasil Pengujian Sistem Pengukuran

Pengujian alat dilakukan untuk melihat kinerja alat yang telah dirancang dalam melakukan pengukuran dengan membandingkan nilai frekuensi yang terukur terhadap nilai frekuensi yang terbaca pada *function generator*. Sensor diujicobakan dengan memasukkan nilai frekuensi pada *function generator* yang akan membangkitkan frekuensi getaran pada *speaker* piezoelektrik sekaligus sebagai pembanding. Grafik perbandingan nilai hasil pengukuran dan nilai masukan *function generator* dapat dilihat pada Gambar 4 dimana kurva berwarna hitam merupakan *input* frekuensi dan kurva berwarna merah merupakan hasil pengukuran. *Trend* masing-masing kurva terlihat sama walau terdapat sedikit perbedaan data.



Gambar 4 Grafik perbandingan nilai frekuensi masukan *function generator* dan frekuensi terukur pada sensor serat optik

Rancangan sistem sensor diuji pada frekuensi yang berada pada rentang 100 Hz – 40.000 Hz dengan hasil yang didapat berjumlah 21 data. Hasil pengujian dan perhitungan menunjukkan standar deviasi dari sistem pengukuran adalah 1,59 dengan ketelitian 99,42 % dan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,58 %. Data statistik yang diperoleh menunjukkan bahwa rancangan sistem pengukuran frekuensi getaran akustik berbasis *directional coupler* telah berhasil dilakukan dan dapat mengukur

frekuensi getaran sonik dan ultrasonik dengan akurat. Pengukuran hanya dilakukan hingga frekuensi 40.000 Hz karena telah mencapai nilai maksimum respon *speaker*.

IV. KESIMPULAN

Rancangan sistem pengukuran frekuensi getaran akustik berbasis *directional coupler* pada *speaker* piezoelektrik mampu mengukur frekuensi getaran sonik dan ultrasonik yang berkisar antara 100 Hz – 40.000 Hz. Hasil pengujian menunjukkan alat mampu bekerja dengan ketelitian 99,42 %, tingkat kesalahan sebesar 0,58 % dan standar deviasi senilai 1,59. Sensor serat optik dan elemen *speaker* bekerja pada jarak 0,2 mm. Hasil karakterisasi jarak sensor serat optik menghasilkan fungsi transfer $y = -182.96x + 953.78$ yang menyatakan sensitivitas sensor terhadap pergeseran jarak elemen *speaker* sebesar -182,96 mV/mm yang digunakan sebagai masukan program Arduino. Hasil pengukuran dapat dilakukan secara *realtime* dengan *output visual* langsung pada LCD.

DAFTAR PUSTAKA

- Ferrari, J.A. and Garcia, P. (1996), “Optical-fiber vibration sensor using step interferometry”, *Applied Optics*, Vol. 35 No. 28, p. 5667.
- Halliday, Resnick and Walker. (2011), *Fundamentals of Physics-Halliday & Resnick*, 9th Editio., John Wiley & Sons, Inc.
- Hariyanto, E. and Santoso, A. (n.d.). “Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Mode Jamak Sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas”, pp. 1–6.
- Kuttruff, H. (2007), *Acoustic: An Introduction*, edited by Francis, T. and, English Ed., Milton Park, Abington, Oxon OX14 4RN, 2 Park Square.
- Lee, B.H., Eom, J.B., Park, K.S., Park, S.J. and Ju, M.J. (2010), “Specialty Fiber Coupler: Fabrications and Applications”, *Journal of the Optical Society of Korea*, Vol. 14 No. 4, pp. 326–332.
- Putri, N.Y., Harmadi, H. and Wildian, W. (2017), “Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Mesin Sepeda Motor Menggunakan Sensor Serat Optik”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 6 No. 3, pp. 270–276.
- Putri, S.E. and Harmadi, H. (2017), “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Frekuensi Getaran Akustik pada Speaker Piezoelektrik Menggunakan Sensor Serat Optik”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 6 No. 1, pp. 47–52.
- Saputro, B.H., -, H. and -, W. (2014), “Analisis Pergeseran Mikro Menggunakan Sensor Serat Optik FD 620-10”, *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, Vol. 6 No. 1, pp. 36–39.