

## **FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) UNTUK ANALISIS SINYAL SUARA DOPPLER ULTRASONIK**

*Arif Syaifuddin, Suryono*

*Lab. Instrumentasi & Elektronika, Jurusan Fisika, FSM, Universitas Diponegoro, Semarang*

*E-mail:kudu.ngaji@gmail.com*

### **ABSTRACT**

*The vibration is a physical phenomenon that frequently occur in a system. This study examines the Doppler effect that occurs in a system by observing signals generated sound system with ultrasonic inspection methods and analyzes these signals to function Fast Fourier Transform (FFT) Matlab. The system is made by utilizing the collision object being towed magnetic field. Collision time is controlled by the microcontroller ATmega16 is used as a reference signal. The experiments were performed 3 times with a delay variation interval or different. The research data in the form of a frequency output signal microcontroller port and the reflected sound wave Doppler ultrasound fetal Doppler devices recording the results using computer software scope version 1.31. The signal was tested by using a fast Fourier transform to look at the frequency domain signal using Matlab 2013 on computer programming. The test results show the system has a lot of FFT frequency. But can be observed the 3 dominant frequency system. The test results compared to the reference frequency FFT shows the amount equal to the sum frequency generated by the microcontroller mean Doppler frequency spectrum of the sound is 387.597 Hz.*

**Keywords:** *Signal, Doppler Effect, FFT, Ultrasonic Inspection, Dominant Frequency*

### **ABSTRAK**

*Getaran merupakan fenomena fisis yang banyak terjadi di dalam suatu sistem. Penelitian ini bertujuan melihat efek Doppler yang terjadi pada suatu sistem dengan mengamati sinyal suara yang dihasilkan sistem tersebut dengan metode ultrasonic inspection serta menganalisis sinyal tersebut dengan fungsi Fast Fourier Transform (FFT) Matlab. Sistem dibuat dengan memanfaatkan tumbukan objek yang ditarik medan magnet. Waktu tumbukan dikontrol dengan mikrokontroler ATmega16 yang digunakan sebagai sinyal referensi. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi jarak waktu atau delay yang berbeda. Data penelitian berupa frekuensi keluaran port mikrokontroler dan sinyal suara Doppler hasil pantulan gelombang ultrasonik hasil perekaman device fetal Doppler menggunakan perangkat lunak komputer scope versi 1.31. Sinyal tersebut diuji dengan menggunakan fast fourier transform untuk melihat domain frekuensi sinyal menggunakan pemrograman Matlab 2013 pada komputer. Hasil pengujian dengan FFT menunjukkan sistem memiliki banyak frekuensi. Tetapi dapat diamati 3 frekuensi dominan sistem. Hasil pengujian FFT dibandingkan dengan frekuensi referensi menunjukkan jumlah yang sama dengan jumlah frekuensi yang dibangkitkan mikrokontroler dengan rerata frekuensi spektrum suara Doppler yaitu 387,597 Hz.*

**Kata kunci :** *Sinyal, Efek Doppler, FFT, Ultrasonic Inspection, Frekuensi Dominan*

### **PENDAHULUAN**

Pengukuran getaran yang banyak dilakukan sekarang bersifat kontak langsung, artinya instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran harus melakukan kontak langsung dengan benda yang akan diamati. Hal ini menimbulkan banyak masalah, terutama apabila benda berada didalam dan tidak dapat kontak langsung oleh instrument. Untuk mengatasi masalah pengukuran getaran benda yang tidak dapat kontak langsung dengan instrumen digunakan metode pengukuran getaran tanpa kontak langsung dengan objek. Metode uji ini

disebut pengujian tidak merusak atau *Non Destructive Testing* (NDT). Aktivitas tes atau inspeksi dengan NDT digunakan untuk mengetahui adanya cacat, retak atau *discontinuity* benda tanpa merusak benda yang di tes atau inspeksi[8].

Perkembangan ilmu pengetahuan & teknologi terutama di bidang elektronika menyebabkan banyak aplikasi elektronika yang dapat diprogram secara otomatis. Komponen elektronika cerdas yang banyak digunakan dalam aplikasi sistem otomatis adalah mikrokontroler. Dalam komponen

mikrokontroler terdapat prosesor dan memori. Prosesor berfungsi untuk pengolahan data dan memori berfungsi sebagai menyimpan data[9]. Sehingga dengan perangkat mikrokontroler dapat dibuat sistem getar dengan waktu getaran yang dapat di program.

Dalam domain waktu, analisis sinyal belum dapat dilakukan. Analisis dapat dilakukan jika sinyal berbentuk spektrum. Sehingga diperlukan transformasi sinyal dari domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Fungsi yang digunakan untuk melihat spektrum getaran dari sinyal domain waktu adalah Fast Fourier Transform (FFT). FFT mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung didalam sinyal dan menunjukkan berapa banyak komponen frekuensi didalam sinyal[6].

Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini dilakukan untuk melihat spektrum getaran suara yang dihasilkan sistem. Selain itu penelitian ini merupakan prediksi awal untuk analisis sinyal suara karena efek Doppler akibat gerakan benda didalam sistem dengan waktu getaran benda dapat diprogram menggunakan mikrokontroler.

**DASAR TEORI**

**Gelombang Ultrasonik**

Gelombang adalah getaran yang merambat, sedangkan ultrasonik merupakan suara atau getaran dengan frekuensi tinggi yaitu diatas 20 KHz[5]. Dalam aplikasi elektronika, frekuensi gelombang ultrasonik dapat dihasilkan oleh getaran elastis dari sebuah kristal kuarsa yang diinduksikan oleh *resonans* dengan suatu medan listrik bolak-balik yang dikenakan pada kristal kuarsa disebut efek piezoelektrik.

Efek piezoelektrik atau *electrostriction* terjadi jika medan listrik yang melewati material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan *dipole* yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi[2].

**Efek Doppler**

Efek Doppler adalah perubahan frekuensi atau panjang gelombang dari sebuah sumber gelombang yang diterima oleh pengamat[4]. Total  $f_p$  dapat berupa hasil superposisi dari gerakan sumber dan/atau gerakan pengamat sesuai rumus berikut :

$$f_p = \left( \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \right) f_s \tag{1}$$

Jika sumber dalam keadaan diam maka  $v_s = 0$ , apabila pengamat dalam keadaan diam maka  $v_p = 0$ [3].

**Fast Fourier Transform (FFT)**

FFT adalah algoritma untuk menghitung *Discreate Fourier Transform* (DFT) dengan cepat dan efisien[6]. Perhitungan DFT secara langsung membutuhkan operasi aritmatika sebanyak  $O(N^2)$  atau mempunyai orde  $N^2$ , sedangkan perhitungan dengan FFT akan membutuhkan operasi sebanyak  $O(N \log N)$ . DFT dinyatakan dalam persamaan:

$$X_n = \sum_{r=0}^{N-1} x_r W^{rn} \tag{2}$$

Persamaan N dibagi 2, maka penjumlahan pada  $X_n$  dapat dibagi menjadi 2 yaitu perjumlahan dalam bentuk r genap dan untuk r ganjil.

DFT untuk r genap yaitu  $\{x_0, x_2, \dots, x_{(N-2)}\}$  dan ditulis sebagai :

$$E_n = \sum_{r=0}^{N/2-1} x_{2r} W^{2rn} \tag{3}$$

DFT untuk r ganjil yaitu  $\{x_1, x_3, \dots, x_{(N-1)}\}$  dan ditulis sebagai :

$$O_n = \sum_{r=0}^{N/2-1} x_{(2r+1)} W^{(2r+1)n} \tag{4}$$

DFT dalam deret sebanyak N dapat dinyatakan dengan dua DFT dalam deret sebanyak N/2.

$$X_n = E_n + W^n O_n \quad (5)$$

Dengan cara ini, maka untuk mencari spektrum sinyal tertentu diperlukan sebanyak  $2 \times (N/2)^2 = 2 \times N^2/4 = N^2/2$  perkalian. Jika memperhitungkan perkalian dengan  $W^n$  maka jumlah perkalian yang harus dilakukan adalah  $N^2/2 + N$ . Dengan asumsi  $N \ll N^2$ , maka dapat dinyatakan jumlah perkalian yang dibutuhkan adalah dalam orde  $N^2/2$  atau  $O(N^2/2)$  yaitu setengah jumlah perkalian yang diperlukan jika digunakan cara lama.

Jika N/2 dapat dibagi 2, maka dapat dinyatakan DFT N/2 titik masing-masing dengan 2 DFT N/4 titik. Hasilnya pengurangan jumlah perkalian yang lebih banyak lagi.

Jika  $N=2^M$  (M disebut radiks) maka prosedur diatas dapat dilakukan berulang-ulang hingga sampai pada DFT 1 titik yaitu  $X_0 = x_0$  yang berarti tidak diperlukan perkalian.

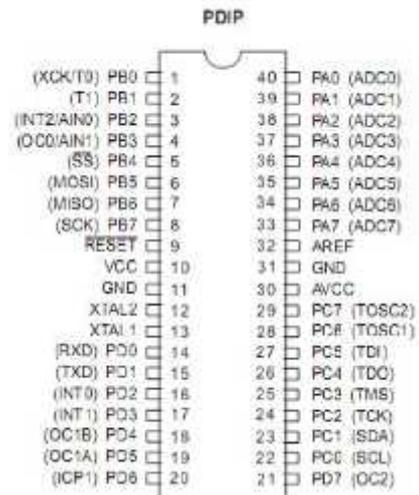
Dengan  $N=2^M$  maka berarti ada M tingkat dimana  $M=\log_2 N$ . pada setiap tingkat harus ada N perkalian, maka algoritma memerlukan  $N \log_2 N$  perkalian. Keuntungan menggunakan FFT dibandingkan DFT sebesar [7]:

$$\frac{N^2}{N \log_2 N} = \frac{N}{M} \quad (6)$$

### Mikrokontroler AVR

AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR mempunyai kepanjangan *Advanced Versatile RISC* atau *Alf and Vegard's Risc Processor* yang berasal dari dua nama mahasiswa *Norwegian Institute of Technology* (NTH), yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan [1].

Konfigurasi pin ATmega16 dengan kemasan 40 pin *Dual In-line Package* (DIP) ditunjukkan pada gambar (1).



Gambar 1. Konfigurasi pin ATmega16 [1]

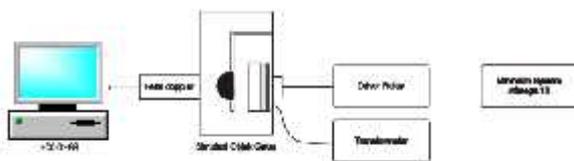
Gambar (1) menjelaskan fungsi dari masing-masing pin ATmega16 sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merupakan pin Ground.
3. Port A (PA0 – PA7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0 – PB7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*).
5. Port C (PC0 – PC7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*).
6. Port D (PD0 – PD7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*).
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler
8. XTAL1 dan XTAL2, merupakan pin masukan external clock
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi pustaka mengenai getaran, macam-macam getaran dan metode-metode untuk melihat spektrum getaran suatu benda kemudian dilakukan perancangan *hardware* objek getar

menggunakan medan magnet sebagai sumber data perekaman sinyal suara efek Doppler berbasis mikrokontroler ATmega16. Setelah itu perekaman data menggunakan metode *ultrasonic inspection* dengan *device* fetal Doppler yang terhubung dengan software *scope*. Langkah selanjutnya pengujian sinyal suara Doppler dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) Matlab untuk melihat frekuensi dasar dari sinyal suara Doppler yang didapatkan dari perekaman.



Gambar 2. Diagram sistem penelitian

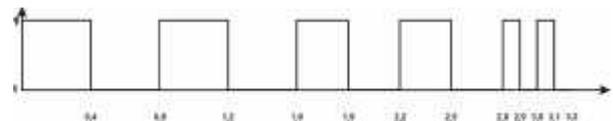
Gambar (2) merupakan diagram penelitian dari pembangkitan sinyal sampai perekaman sinyal suara Doppler. Perekaman sinyal suara Doppler dilakukan dengan memberikan input program ke mikrokontroler dengan 3 jarak waktu yang berbeda pada masing-masing percobaan. Pada percobaan pertama, mikrokontroler di program dengan jarak waktu 0.4 s, 0.3 s dan 0.1 s, percobaan kedua dengan jarak waktu 0.4 s, 0.7 s dan 0.25 s dan percobaan ketiga dengan jarak waktu 0.4 s, 0.8 s dan 0.165 s. Pengambilan data dilakukan pada 1 titik dengan efek Doppler terkuat.

FFT digunakan untuk merubah domain waktu sinyal menjadi domain frekuensi. Software Matlab 2013 merupakan software simulasi dan analisis data yang sudah menyediakan fungsi FFT. Fungsi FFT Matlab adalah *signal processing* yang disebut SPTool. Untuk memanggil fungsi *signal processing* Matlab dengan mengetikkan fungsi *sptool* pada *command windows* atau pada Matlab 2013 dengan memilih *signal analisys* pada toolbar Matlab.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

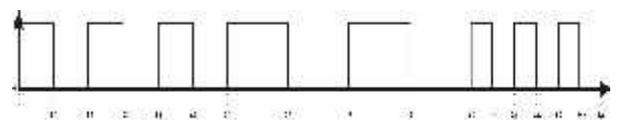
Dari hasil pengujian frekuensi port mikrokontroler dengan 3 program yang berbeda didapatkan 3 frekuensi referensi getaran dengan

pola yang berbeda. Pengujian frekuensi keluaran port 1 ditunjukkan gambar (3). Gambar (3) menunjukkan sinyal output port B percobaan pertama dengan jeda waktu pertama 0,4 detik, jeda waktu kedua 0,3 detik dan jeda waktu ketiga 0,1 detik



Gambar 3. Bentuk sinyal referensi domain waktu percobaan 1

Besarnya frekuensi referensi percobaan pertama berturut-turut sebesar 2,5 Hz, 3,33 Hz dan 10 Hz. Selanjutnya pengujian frekuensi keluaran port 2 ditunjukkan gambar (4). Gambar (4) menunjukkan sinyal output port B percobaan kedua dengan jeda waktu pertama 0,4 detik, jeda waktu kedua 0,7 detik dan jeda waktu ketiga 0,25 detik.



Gambar 4. Bentuk sinyal referensi domain waktu percobaan 2

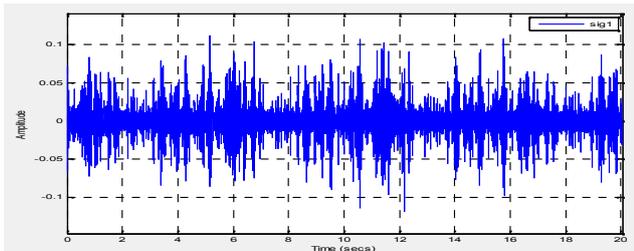
Besarnya frekuensi referensi percobaan kedua berturut-turut sebesar 2,5 Hz, 1,43 Hz dan 4 Hz. Selanjutnya pengujian frekuensi keluaran port 3 ditunjukkan gambar (5). Gambar (5) menunjukkan sinyal output port B percobaan ketiga dengan jeda waktu pertama 0,4 detik, jeda waktu kedua 0,8 detik dan jeda waktu ketiga 0,165 detik. Besarnya frekuensi referensi percobaan ketiga berturut-turut sebesar 2,5 Hz, 1,25 Hz dan 6,06 Hz



Gambar 5. Bentuk sinyal referensi domain waktu percobaan 3

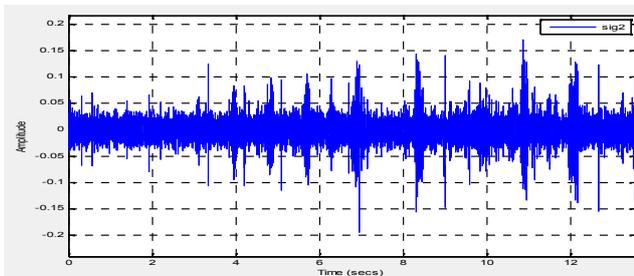
Selanjutnya dilakukan proses perekaman sinyal suara Doppler objek. Efek Doppler

terjadi karena benda bergerak mendekati/menjauhi pengamat (*probe* fetal Doppler). Efek Doppler menyebabkan perubahan frekuensi pada sinyal yang terekam. Untuk mendeteksi perubahan frekuensi akibat efek Doppler digunakan metode *ultrasonic inspection*.



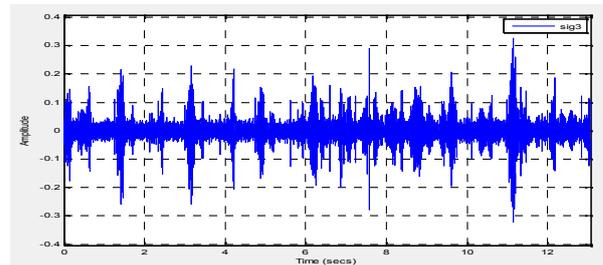
**Gambar 6.** Hasil perekaman sinyal suara Doppler percobaan 1

Gambar (6) menunjukkan data perekaman sinyal suara Doppler dengan format .wav yang telah ditampilkan dalam plot *figure* Matlab. Data diambil selama  $\pm 20$  detik dengan akuisisi data sinyal menggunakan frekuensi audio yang didengar oleh manusia yang berada diantara rentang nilai frekuensi 20 Hz hingga 20.000 Hz. Frekuensi 20.000 Hz digunakan sebagai frekuensi maksimal pengujian FFT.



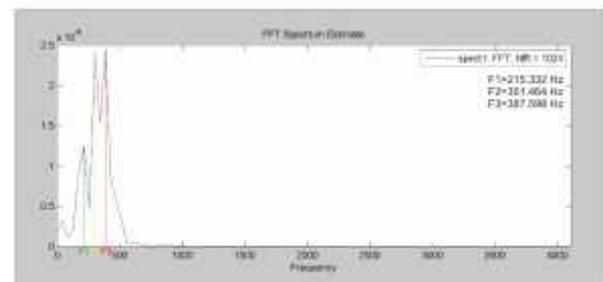
**Gambar 7.** Hasil perekaman sinyal suara Doppler percobaan 2

Gambar (7) menunjukkan hasil perekaman sinyal suara Doppler percobaan dua. Dalam gambar (7) dapat dilihat lamanya perekaman yaitu selama  $\pm 12$  detik. Dari kedua sinyal suara Doppler yang telah direkam sudah terlihat pola sinyal yang berbeda. Hal ini dikarenakan frekuensi keluaran port mikrokontroler yang berbeda untuk kedua percobaan.



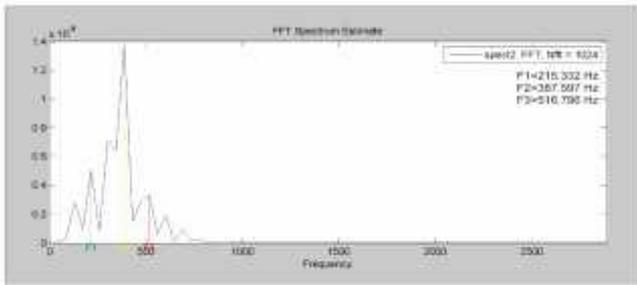
**Gambar 8.** Hasil perekaman sinyal suara Doppler percobaan 3

Gambar (8) menunjukkan hasil perekaman sinyal suara Doppler percobaan tiga. Dalam gambar (8) dapat dilihat lamanya perekaman yaitu selama  $\pm 12$  detik. Dari kedua sinyal suara Doppler yang telah direkam sudah terlihat pola sinyal yang berbeda. Hal ini dikarenakan frekuensi referensi mikrokontroler yang berbeda. Selanjutnya pengolahan data dilakukan dengan merubah sinyal domain waktu menjadi spektrum domain frekuensi. Domain frekuensi digunakan untuk mengetahui frekuensi penyusun sinyal yang akan digunakan untuk interpretasi.



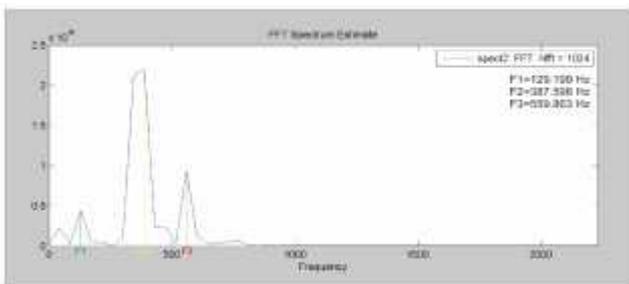
**Gambar 9.** Hasil pengujian FFT sinyal percobaan 1

Dari gambar (9) dapat dilihat pola spektrum getaran suara Doppler hasil *fast fourier transform* (FFT). Dari hasil pengujian FFT didapatkan 3 frekuensi pribadi tertinggi spektrum sinyal suara Doppler percobaan pertama. Frekuensi 1 ditunjukkan dengan puncak warna hijau sebesar 215,332 Hz; Frekuensi 2 ditunjukkan dengan puncak warna kuning sebesar 301,464 Hz; Frekuensi 3 ditunjukkan dengan puncak warna merah sebesar 387,598 Hz.



Gambar 10. Hasil pengujian FFT sinyal percobaan 2

Dari gambar (10) dapat dilihat pola spektrum getaran suara Doppler hasil *fast fourier transform* (FFT). Dari hasil pengujian FFT didapatkan 3 frekuensi pribadi tertinggi spektrum sinyal suara Doppler percobaan kedua. Frekuensi 1 ditunjukkan dengan puncak warna hijau sebesar 215,332 Hz; Frekuensi 2 ditunjukkan dengan puncak warna kuning sebesar 387,597 Hz; Frekuensi 3 ditunjukkan dengan puncak warna merah sebesar 516,796 Hz.

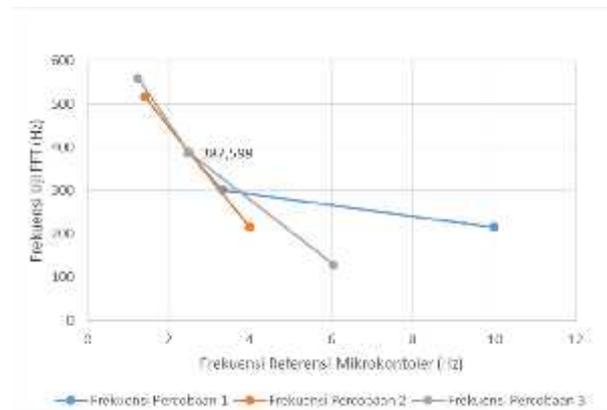


Gambar 11. Hasil pengujian FFT sinyal percobaan 3

Dari gambar (11) dapat dilihat pola spektrum getaran suara Doppler hasil *fast fourier transform* (FFT). Dari hasil pengujian FFT didapatkan 3 frekuensi pribadi tertinggi spektrum sinyal suara Doppler percobaan kedua. Frekuensi 1 ditunjukkan dengan puncak warna hijau sebesar 129,199 Hz; Frekuensi 2 ditunjukkan dengan puncak warna kuning sebesar 387,598 Hz; Frekuensi 3 ditunjukkan dengan puncak warna merah sebesar 559,863 Hz.

Dari FFT spektrum sinyal suara Doppler dapat terlihat dengan jelas. Dengan melihat spektrum sinyal suara Doppler yang terbentuk dapat dilihat frekuensi dominan yang menyusun sinyal. Untuk membuktikan keakuratan hasil pengujian FFT dilakukan interpretasi frekuensi

spektrum sinyal rekaman dengan frekuensi referensi dari mikrokontroler.



Gambar 12. Grafik perbandingan frekuensi spektrum sinyal rekaman dengan frekuensi referensi

Gambar (12) menunjukkan grafik perbandingan frekuensi untuk masing-masing percobaan. Garis pada grafik menunjukkan nilai frekuensi referensi dengan frekuensi perekaman. Garis biru menunjukkan frekuensi percobaan 1, garis merah menunjukkan frekuensi percobaan 2 dan garis hitam menunjukkan frekuensi percobaan 3. Dari grafik dapat dilihat dari ketiga percobaan frekuensi referensi keluaran port 2,5 Hz menghasilkan frekuensi rekaman keluaran sistem rata-rata sebesar 387,597 Hz.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan pengujian dan analisis spektrum sinyal suara Doppler dapat diperoleh kesimpulan:

1. Sistem simulasi getaran untuk menganalisa sinyal Doppler ultrasonik dapat dibangkitkan menggunakan program dari mikrokontroler dan direkam dalam komputer.
2. Dari analisis Fast Fourier Transform (FFT) menunjukkan jumlah frekuensi yang dibangkitkan oleh sistem pembangkit sinyal pada Doppler ultrasonik memiliki

jumlah yang sesuai dengan yang dibangkitkan oleh mikrokontroler.

3. Frekuensi dominan dari sinyal yang dibangkitkan menunjukkan 3 frekuensi dominan yang sebanding dengan frekuensi referensi mikrokontroler.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrianto, H., 2008, *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16 Menggunakan Bahasa c (CodeVision AVR)*, Informatika, Bandung.
- [2] Bushberg dan Jerrold, T., 2002, *The Essential Physics of Medical Imaging*. California: Lippincott Williams & Wilkins.
- [3] Depdiknas, 2013, *Materi Pokok Fisika Efek Doppler 2008*. Pustekkom Depdiknas. Sumber:  
<http://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/> Diakses tanggal 2 Juni 2014
- [4] Giancoli, D., 2001, *Fisika Edisi Kelima*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- [5] Harcarik, T. Bocko, J dan Maslakova, K., 2012, *Frequency Analysis of Acoustic Signal Using The Fast Fourier Transformation In Matlab*, Jurnal, University of Kosice, Slovakia.
- [6] Radiana, S.G., 2008, *Discrete Fourier Transform Menjadi Fast Fourier Transform*, Jurusan Teknik Elektro, UGM Yogyakarta.
- [7] Susilawati, I., 2009, *Transformasi Fourier Cepat*, Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana, Yogyakarta.
- [8] Wibowo, H., 2012, *Ultrasonik Testing*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [9] Winato, A., 2008, *Mikrokontroler AVR Atmega 8/16/32/8535 dan Pemogramannya dengan Bahasa c pada WinAVR*, Informatika, Bandung.

