

PERANCANGAN ALAT UKUR KECEPATAN MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DAN PRINSIP EFEK DOPPLER

Najibuddin Habibi, Imam Suchahyo

Jurusan Fisika, FMIPA, UNESA, email : habibinajibuddin@gmail.com

Abstrak

Penelitian laboratorium ini bertujuan untuk merancang alat ukur kecepatan menggunakan prinsip Efek Doppler yang diperoleh dari pengukuran perubahan frekuensi. Penelitian ini terdiri dari sistem mekanik dan sistem elektronik. Sistem elektronik meliputi rangkaian ultrasonik transmitter menggunakan IC NE555 yang menghasilkan output sinyal frekuensi sebesar ± 40 kHz dan rangkaian ultrasonik receiver akan menerima gelombang ultrasonik yang dikuatkan menggunakan OP-AMP TL081 dan diproses oleh mikrokontroler ATmega328. Sistem mekanik terdiri atas mobil-mobilan sebagai pemantul, lintasan mobil, danudukan sensor. Pengambilan data dilakukan dengan beberapa perubahan variabel diantaranya perubahan nilai tegangan dari 7 – 9,7 Volt dan jarak antar photogate 30 cm, 50 cm dan 70 cm sehingga didapatkan error terbesar berturut-turut yaitu 5,76%, 6,54% dan 12,26%. Hasil kesalahan tersebut diperoleh dari perbandingan alat pengukuran dengan *Pasco Timer*. Gerak motor pada sistem ini diasumsikan bergerak secara GLB, karena pembahasan mengenai teori efek dopler hanya berlaku pada sistem yang bergerak lurus beraturan. Percobaan ini masih kurang maksimal dikarenakan sensor ultrasonik bersifat fluktuatif adapun faktor yang mempengaruhi antara lain yaitu suhu, kelembaban dan gaya gesek udara serta sensor ultrasonik juga memiliki pancaran gelombang yang menyebar sehingga perlu dilakukan pemfokusan antara transmitter dan receiver agar dapat meningkatkan akurasi data dalam pengukuran.

Kata kunci : Efek Doppler, Sensor Ultrasonik, Kecepatan, Mikrokontroler.

Abstract

This laboratory study aimed to design a device based on Doppler Effect which use the change in frequency for measuring speed. This study consist of mechanical systems and electronic systems. Electronic systems include an ultrasonic transmitter circuit of IC NE555 which produces the output signal of frequency ± 40 kHz and ultrasonic receiver circuit will receive ultrasonic waves amplified using OP-AMP TL081 and processed by a microcontroller ATmega328. Mechanical system consist of cars as a reflector, track car, and sensor holder. Data collection was performed with a few changes including changes in the value of the variable voltage from 7 to 9,7 Volt and the distance between the photogate 30 cm, 50 cm and 70 cm so we get the most consecutive error is 5,76%, 6,54% and 12, 26%. The error results obtained from the comparison tool measurement with *Timer Pasco*. Movement of the motor in the system is assumed to move in uniform motion, because the discussion about theory of the Doppler Effect applies only to systems that moving uniformly. This experiment is not yet has maximum result because the ultrasonic sensor fluctuates as effect of temperature, humidity and air friction and ultrasonic sensors also have a wave beam that spreads so aligning the transmitter and receiver to increase data accuracy in the measurement is necessary.

Keywords: Doppler Effect, Ultrasonic Sensors, Speed, Microcontroller.

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi perkembangan teknologi semakin pesat baik di bidang komunikasi, industri, pendidikan, kesehatan, dan sebagainya. Semakin banyak pula alat yang di buat atau di rancang dengan maksud agar dapat mempermudah aktivitas manusia dalam melaksanakan segala macam kegiatan di bidang tersebut.

Kemajuan teknologi yang semakin pesat dapat dilihat dalam katalog produk alat laboratorium dan penunjang pendidikan yang digunakan semakin canggih dan terkendala oleh harga alat-alat tersebut yang relatif mahal, oleh karena itu banyak pula laboratorium sekolah dan universitas tidak menggunakan produk-produk tersebut sehingga pelajar atau mahasiswa hanya dapat melakukan praktikum secara terbatas. Salah satu langkah efektif yang dapat dilaksanakan antara lain adalah dengan

memaksimalkan penggunaan peralatan yang telah dimiliki dan memodifikasinya menjadi peralatan yang cukup layak digunakan. Akan tetapi langkah tersebut masih banyak mengalami kendala karena alat yang ada terbatas jumlah dan jenisnya serta akurasinya, sehingga diperlukan pengadaan peralatan baru yang tetap memperhatikan nilai ekonomisnya tetapi tetap memperhatikan kualitasnya. Di laboratorium eksperimen jurusan fisika FMIPA Unesa penulis belum banyak menemui suatu alat ukur yang langsung dapat mengukur fenomena dalam kehidupan sehari-hari seperti contoh peristiwa efek doppler. Oleh karena itu, penulis berupaya untuk merancang alat ukur yang dilandasi oleh fenomena efek doppler dengan harapan pelajar dan mahasiswa dapat menggunakan alat tersebut dalam praktikum eksperimen fisika.

Efek doppler adalah perubahan frekuensi atau panjang gelombang yang diterima oleh pengamat, jika sumber suara atau gelombang tersebut bergerak relatif terhadap pengamat atau pendengar. Salah satu contoh peristiwa efek doppler adalah adanya pergeseran frekuensi bunyi yang terdengar ketika sirine ambulans mendekat lalu menjauh.

Dasar dari Efek Doppler adalah gelombang ultrasonik yang bergerak relatif terhadap pengamat atau pendengar yang mengalami pergeseran frekuensi atau disebut pergeseran doppler. Gelombang Ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Karakteristik gelombang ultrasonik yang melalui suatu medium mengakibatkan getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan dan regangan secara kontinu (Resnick dan Halliday, 1992).

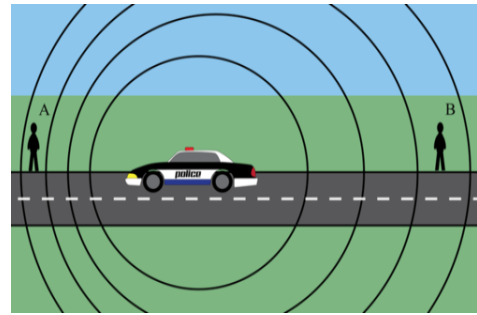
Untuk memahami hal ini harus diketahui hubungan antara frekuensi dari sumber bergerak (f_s) dan frekuensi yang diterima penerima (f_p). Frekuensi terukur oleh penerima yang bergerak menjauh dari sumber akan lebih kecil dari frekuensi yang terukur disumber, sedangkan frekuensi terukur oleh penerima yang bergerak mendekati sumber akan lebih besar dari nilai frekuensi terukur disumber. Selanjutnya kecepatan sumber (v_s) dihitung berdasarkan frekuensi sinyal yang diterima (f_p). Adapun kecepatan bunyi diudara yaitu sebesar 344 m/s di suhu 20oC dan kelembaban relatif sebesar 50% serta efek relativistik diabaikan (Sasaki.K.S, 1992).

Dalam mendukung pembuatan alat ini digunakan sensor ultrasonik dengan yang bekerja pada frekuensi diatas 20 kHz. Pada alat ini sistem yang akan dikendalikan adalah kecepatan dan arah benda yang bergerak maju atau mundur, sedangkan sensor ultrasonik diletakan di depan benda tersebut dengan posisi sejajar antara tranmitter dan reciever sehingga terjadi pemantulan gelombang ultrasonik yang kemudian dihubungkan dengan rangkaian penguat untuk di proses oleh mikrokontroler selanjutnya akan ditampilkan pada display.

TEORI DASAR

Ketika sebuah sumber bunyi bergerak mendekati pengamat, ketinggian nada lebih tinggi daripada ketika sumber tersebut berada dalam keadaan diam, dan ketika sumber menjauh dari pengamat, ketinggian nada lebih rendah. Fenomena ini dikenal sebagai efek Doppler dan terjadi untuk semua jenis gelombang (Tipler,1991).

Untuk menghitung perubahan frekuensi, kita anggap udara (atau medium lainnya) berada dalam keadaan diam pada kerangka acuan kita. Kita misalkan sumber bunyi, ditunjukkan sebagai titik yang berada dalam keadaan diam; dua puncak gelombang yang berurutan digambarkan, dimana yang kedua sedang dalam proses dipancarkan.



Gambar 1 Muka gelombang Sumber Bergerak (sumber: <http://www.gomuda.com/efek-doppler>.)

Jarak antara puncak-puncak ini adalah λ , panjang gelombang. Jika frekuensi sumber adalah f , maka waktu diantara pemancaran puncak gelombang adalah.

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Sumber bergerak dengan kecepatan v_s , dalam waktu T (sebagaimana baru didefinisikan), puncak gelombang yang pertama telah bergerak sejauh $d = vT$, dimana v adalah kecepatan bunyi di udara (yang tentu saja sama saat sumber bergerak maupun tidak). Pada waktu yang sama ini, sumber telah bergerak sejauh $d_s = v_s T$. Kemudian jarak antara puncak gelombang yang berurutan, yang merupakan panjang gelombang yang baru λ' adalah (karena $d = \lambda$), maka,

$$\lambda' = \lambda \left(1 - \frac{v_s}{v}\right) \quad (2)$$

perubahan panjang gelombang $\Delta\lambda$ adalah

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = -v_s \frac{\lambda}{v} \quad (3)$$

Sehingga pergeseran panjang gelombang berbanding lurus dengan laju v_s dari sumber. Frekuensi yang baru, di pihak lain dinyatakan dengan

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda \left(1 - \frac{v_s}{v}\right)} \quad (4)$$

atau karena $v / \lambda = f$,

$$f' = \frac{f}{\left(1 - \frac{v_s}{v}\right)} \quad (5)$$

Maka,

$$v_s = \frac{(f' - f)}{f'} \cdot v \quad (6)$$

Untuk sumber yang menjauh dari pengamat dengan laju v_s , panjang gelombang yang baru adalah

$$\lambda' = d + d_s$$

dan perubahan panjang gelombang menjadi

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = +v_s \frac{\lambda}{v} \quad (7)$$

Frekuensi gelombang menjadi persamaan dibawah ini saat sumber menjauh dari pengamat yang diam

$$f' = \frac{f}{\left(1 + \frac{v_s}{v}\right)} \quad (8)$$

Efek Doppler juga terjadi ketika sumber dalam keadaan diam dan pengamat bergerak. Jika pengamat mendekati sumber, ketinggian nada lebih tinggi dan jika pengamat menjauhi sumber, ketinggian nada lebih rendah. Secara kuantitatif, perubahan frekuensi sedikit berbeda dari kasus sumber yang bergerak. Dengan

sumber diam dan pengamat bergerak, jarak antara puncak gelombang dengan panjang gelombang λ tidak berubah. Jika pengamat mendekati sumber, laju gelombang relative terhadap pengamat adalah $v' = \bar{v} + v_o$, dimana v adalah kecepatan bunyi di udara (kita anggap udara diam) dan v_o adalah kecepatan pengamat. Dengan demikian, frekuensi yang baru adalah

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v+v_o}{\lambda} \quad (9)$$

Atau karena $\lambda = v/f$, maka persamaan menjadi seperti dibawah ini ketika pengamat mendekati sumber yang diam

$$f' = \left(1 + \frac{v_o}{v}\right) f \quad (10)$$

Jika pengamat menjauhi sumber yang diam, kecepatan relatif adalah $v' = v - v_o$ dan

$$f' = \left(1 - \frac{v_o}{v}\right) f \quad (11)$$

Untuk mudahnya, kita dapat menuliskan persamaan (3.7) dan (3.8) dengan (3.9) dan (3.10) sebagai satu persamaan yang mencakup semua kasus sumber dan pengamat yang bergerak:

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s}\right) \quad (12)$$

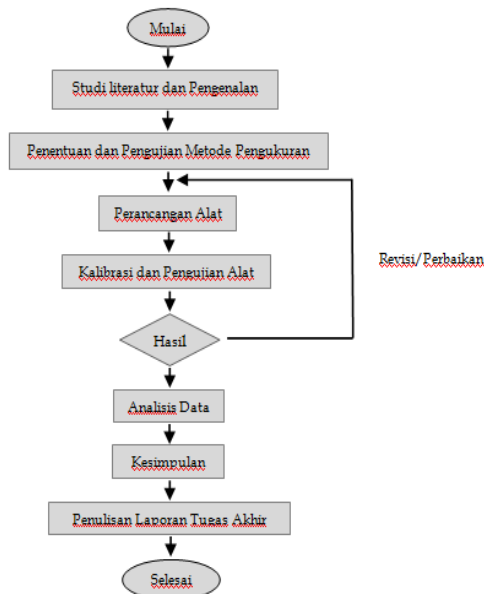
dengan,

- f' = frekuensi yang terdengar oleh pengamat (Hz)
- f = frekuensi sumber bunyi (Hz)
- v = kecepatan bunyi di udara (m/s)
- v_o = kecepatan pengamat (m/s)
- v_s = kecepatan sumber (m/s)

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen berbasis laboratorium yang membahas tentang pengukuran perubahan frekuensi. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan akan di gambarkan secara umum dalam bentuk diagram alir pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

B. Variabel Operasional Penelitian

Definisi operasional merupakan definisi yang digunakan dalam penelitian. Terdapat tiga variabel operasional penelitian, yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi, dan variabel respon. Variabel kontrol adalah sesuatu yang tidak berubah dan dalam penelitian ini sesuatu yang tidak dapat diubah adalah panjang lintasan mobil-mobilan. Variabel manipulasi (faktor yang mempengaruhi) pada penelitian skripsi ini adalah tegangan motor DC yaitu sebesar 7 - 9,7 Volt dan jarak antar photogate sejauh 30, 50 dan 70 cm yang dilakukan secara bersamaan atau berada dalam satu sistem. Variabel respons dalam penelitian ini adalah perubahan frekuensi yang nantinya akan digunakan sebagai variabel untuk menentukan kecepatan benda.

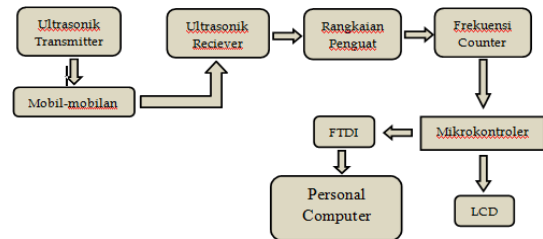
C. Aparatus dan Instrumen Penelitian

Aparatus dan instrumen penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua tahap yaitu tahap pertama perancangan dan pembuatan perangkat keras (hardware) dan tahap kedua adalah perancangan dan pembuatan perangkat lunak (software).

1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan dan pembuatan perangkat keras meliputi perangkat yang terdiri dari sebagai berikut.

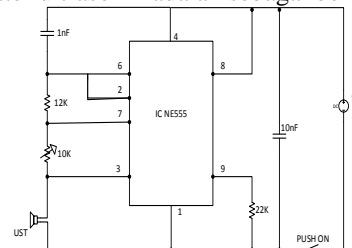
a. Diagram Sistem Alat



Gambar 3 Diagram Sistem Penelitian

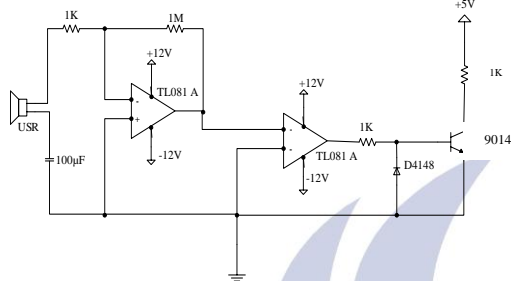
Diagram sistem alat merupakan sistem utama dari diagram alir yang menggambarkan skema atau susunan dari perancangan dan pembuatan alat secara keseluruhan. Berdasarkan diagram sistem rangkaian diatas sistem kerja alat ini adalah ketika sumber gelombang ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik dan dipantulkan oleh layar mobil-mobilan yang selanjutnya akan diterima oleh sensor penerima ultrasonik kemudian gelombang ultrasonik tersebut akan dikuatkan oleh rangkaian penguat, dan setelah itu mikrokontroler akan mengolah gelombang ultrasonik selanjutnya akan ditampilkan pada display dan serial monitor menggunakan FTDI.

Dari penjelasan diagram sistem diatas maka rangkaian transmitter ultrasonik adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Rangkaian Transmitter Ultrasonik (Sumber: Chalim.M.D, 2012)

Transmitter gelombang ultrasonik disusun oleh transducer ultrasonik yang diberi tegangan input gelombang kotak dengan sekitar 40 KHz yang dihasilkan oleh multivibrator astabil dengan IC 555, karena transducer ultrasonik bekerja secara ideal pada sekitar frekuensi tersebut. Gelombang kotak yang dihasilkan oleh rangkaian multivibrator yang disusun oleh IC 555 yang bekerja secara astable kemudian diberikan ke modul atau transducer ultrasonik untuk dipancarkan dan diterima oleh receiver ultrasonik. Dari penjelasan tersebut maka rangkaian receiver ultrasonik adalah sebagai berikut:



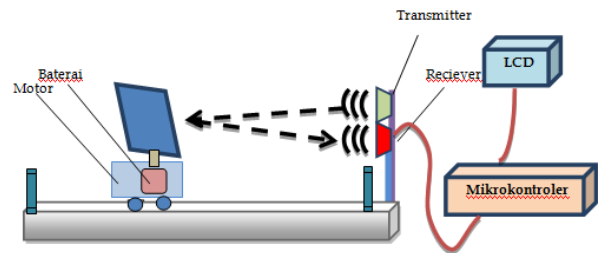
Gambar 5 Rangkaian Reciever Ultrasonik
(Sumber: Chalim.M.D, 2012)

Penerima ultrasonik ini akan menerima sinyal ultrasonik yang dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan karakteristik frekuensi yang sesuai. Ultrasonik merupakan piezoelektrik yang apabila ada sinyal gelombang dari transmitter akan bergetar dan menghasilkan tegangan input yang sangat kecil pada kaki sensor ultrasonik sehingga diperlukan suatu rangkaian penguatan menggunakan Op-Amp. Tegangan sensor ultrasonik tidak bisa diukur karena sangat kecil kisaran penguatannya sangat kecil sekitar mV sehingga dibutuhkan rangkaian penguatan yang bekerja sekitar 1000 sampai 10.000 kali. Karena output dari Op-Amp masih berbentuk gelombang analog maka digunakan suatu rangkaian komparator inverting amplifier Op-Amp TL081 dengan tegangan masukan -12V dan +12V untuk membentuk gelombang digital yang dibutuhkan mikrokontroler sebagai sinyal input.

b. Sistem Mekanik

Pada perancangan sistem mekanik ini dibuat untuk melihat pergeseran frekuensi yang dipengaruhi oleh peristiwa efek Doppler. Modul sensor ultrasonik dibuat dengan ukuran yang kecil agar lebih mudah ditempatkan pada sistem mekanik, penempatan modul ultrasonik ini letakkan sejajar atau berdampingan sehingga terjadi pemantulan gelombang ultrasonik. Modul ultrasonik terbagi menjadi dua yaitu modul transmitter yang menggunakan satu buah sensor ultrasonik yang berfungsi sebagai pemancar untuk mengirimkan gelombang ultrasonik sebesar 40 KHz dan modul receiver yang menggunakan satu buah sensor yang berfungsi untuk menerima dan menguatkan gelombang ultrasonik sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada display (LCD). Selanjutnya benda yang diberi motor sebagai tenaga penggerak akan diletakkan di depan sensor ultrasonik dengan jarak yang sudah ditentukan kemudian benda dilepas dari ujung lintasan berupa bidang datar, dari benda yang meluncur itu kita

bisa menentukan kecepatan suatu benda. Adapun perancangan sistem mekanik yang dilakukan dalam mendukung kerja alat ukur efek Doppler ini adalah sebagai berikut:



Gambar 6 Rancangan Sistem Mekanik.

Adapun penjelasan dari bagian-bagian sistem mekanik adalah sebagai berikut:

- Dudukan Sensor** : digunakan sebagai tempat sensor ultrasonik yang akan memantulkan gelombang ultrasonik ketika benda bergerak.
- Besi Model L** : digunakan sebagai rel atau lintasan untuk gerak benda. Besi model L ini berbentuk siku sehingga tepi besi dapat dipakai untuk menahan benda agar tidak terjatuh. Panjang besi yang digunakan adalah 2 meter.
- Motor DC** : digunakan sebagai penggerak benda yang dihubungkan dengan power supply sebesar 24V.
- Mobil-mobilan** : memiliki sebuah layar yang berfungsi sebagai pantulan gelombang ultrasonik. Mobil-mobilan ini juga diberi klaker untuk mengurangi gaya gesek terhadap lintasan.

2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Tahapan berikutnya yang digunakan dalam penelitian ini peralatan yang menunjang untuk melakukan proses dalam pengukuran. Perintah dimasukkan untuk pembacaan kondisi aliran kedalam perangkat yang akan dibuat, maka digunakan sebuah perangkat lunak (software) yang bernama Arduino 1.5.6



Gambar 7 Arduino

Software tersebut menghasilkan file hex dari baris code yang dinamakan *sketch*. Software memiliki berbagai macam fitur yang dapat memudahkan pengguna pemula tanpa harus memahami terlalu dalam dasar-dasar

penggunaan dari bahasa C. Setelah selesai membuat program dengan menggunakan *software* tersebut, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan *sketch* kedalam perangkat yang telah dibuat di dalam arduino software di *compile* dengan perintah *verify / Compile*, lalu program hasil kompilasi itu dijalankan oleh *bootloade*.

D. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data diperoleh dari serial monitor yang ditampilkan oleh mikrokontroler. Arduino yang dipasangkan pada port komputer melalui kabel USB yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5V dan terhubung dengan sensor ultrasonik. Data berupa perubahan frekuensi didapatkan dari sensor ultrasonik transmitter yang memancarkan gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh layar dan diterima oleh sensor ultrasonik receiver selanjutnya data tersebut akan diolah oleh mikrokontroler.

E. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan pada alat yang sudah dirancang berikut dengan kalibrasinya yaitu Pasco Timer. Pada tahap ini akan dilakukan proses pengambilan data dari parameter yang akan diamati yaitu data berupa perubahan frekuensi. Data pada alat ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mengetahui perubahan frekuensi dengan memanipulasi tegangan motor selanjutnya data tersebut akan diolah oleh mikrokontroler menggunakan persamaan (6) untuk mendapatkan data berupa kecepatan, sedangkan pengukuran menggunakan Pasco Timer didapatkan data berupa waktu, kemudian waktu tersebut dimasukan dalam perumusan Gerak Lurus Beraturan (GLB) maka akan didapatkan data berupa kecepatan dimana jarak dibagi waktu waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Perubahan nilai tegangan berkisar antara 7 Volt sampai 9,7 Volt dikarenakan dibawah masukan tegangan 7 V, motor masih belum bisa bergerak dengan stabil, dan apabila masukan tegangan diatas nilai tersebut motor bergerak terlalu cepat yang dapat menyebabkan gangguan friksi pada sistem.

Disamping nilai tegangan yang dimanipulasi, dalam penelitian ini juga mengubah variabel bebas lainnya, yaitu jarak antar *photogate*. Dengan tujuan mengetahui apakah motor dari alat pengukuran bergerak lurus beraturan atau dipercepat. Hal tersebut dilakukan pada jarak 30 cm, 50 cm, dan 70 cm, dengan hasil data sebagai berikut:

1. Perbandingan pengukuran kecepatan pada jarak antar photogate 30 cm

Pada penelitian yang berbasis laboratorium ini, didapatkan data dengan variabel peubah berupa tegangan dan dihasilkan nilai perubahan frekuensinya. Diperoleh data pengukuran perubahan tegangan terhadap kecepatan suatu benda yang dibandingkan dengan kecepatan yang diperoleh dari pengukuran *Pasco timer*. Pada pengukuran jarak antar *photogate* 30 cm diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengukuran nilai tegangan terhadap kecepatan dan perubahan frekuensi

No	Tegangan (V)	f_s (kHz)	f_r (kHz)	\bar{v}_{alat} (m/s)	\bar{v}_{pasco} (m/s)	Error (%)
1	7,00	41,05	41,19	0,60	0,61	1,90
2	7,30	41,05	41,21	0,67	0,64	4,50
3	7,60	41,05	41,21	0,68	0,66	3,84
4	7,90	41,05	41,23	0,75	0,71	5,76
5	8,20	41,05	41,23	0,76	0,74	3,47
6	8,50	41,05	41,24	0,79	0,77	2,17
7	8,80	41,05	41,25	0,81	0,81	0,60
8	9,10	41,05	41,26	0,87	0,85	1,92
9	9,40	41,05	41,26	0,87	0,87	0,46
10	9,70	41,05	41,28	0,95	0,91	4,61

Berdasarkan Tabel 4.3. diperoleh data berupa kecepatan (m/s) dari hasil pengukuran *alat* terhadap *Pasco Timer* yang memiliki kesalahan terbesar yaitu 5,76% dengan nilai perubahan frekuensi sebesar 41,23 kHz. Pengukuran dilakukan setiap perubahan tegangan 0,3 Volt untuk dapat mengetahui perubahan frekuensi alat. Kesalahan terkecil terdapat pada saat tegangan 8,80 V yaitu sebesar 0,46 % dengan hasil perbandingan yang terukur dari *alat* dan *Pasco Timer* adalah 0,87 m/s dan 0,87 m/s dengan nilai perubahan frekuensi sebesar 41,26 kHz. Berbeda pada saat kecepatan maksimum terukur pada *Alat* dan *Pasco Timer* yaitu sebesar 0,95 m/s dan 0,91 m/s dengan kesalahan pengukuran sebesar 4,61 %.

2. Perbandingan pengukuran kecepatan pada jarak antar photogate 50 cm

Pengukuran pada jarak 50 cm dilakukan sebagai pembanding nilai kecepatan Alat dengan *Pasco timer*. Sama halnya dengan pengukuran pada jarak antar *photogate* 30 cm dimana didapatkan data dengan variabel peubah berupa tegangan dan dihasilkan nilai perubahan frekuensinya. Diperoleh data pengukuran perubahan tegangan terhadap kecepatan suatu benda yang dibandingkan dengan kecepatan yang diperoleh dari pengukuran *Pasco timer*. Pada pengukuran jarak antar *photogate* 50 cm diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil pengukuran nilai tegangan terhadap kecepatan dan perubahan frekuensi

No	Tegangan (V)	f_s (kHz)	f_r (kHz)	\bar{v}_{alat} (m/s)	\bar{v}_{pasco} (m/s)	Error (%)
1	7,00	41,05	41,19	0,57	0,56	1,59
2	7,30	41,05	41,21	0,65	0,62	4,91
3	7,60	41,05	41,22	0,69	0,67	2,81
4	7,90	41,05	41,22	0,73	0,69	4,86
5	8,20	41,05	41,23	0,75	0,74	1,57
6	8,50	41,05	41,24	0,79	0,79	0,87
7	8,80	41,05	41,26	0,86	0,82	5,20
8	9,10	41,05	41,26	0,89	0,84	5,59
9	9,40	41,05	41,27	0,92	0,86	6,54
10	9,70	41,05	41,27	0,93	0,91	3,10

Berdasarkan Tabel 4.4. diperoleh data berupa kecepatan (m/s) dari hasil pengukuran *alat* terhadap *Pasco Timer* yang memiliki kesalahan terbesar yaitu 6,54 % dengan nilai perubahan frekuensi sebesar 41,27 kHz. Pengukuran dilakukan setiap perubahan tegangan 0,3 Volt untuk dapat mengetahui perubahan frekuensi alat.

Kesalahan terkecil terdapat pada saat tegangan 8,50 V yaitu sebesar 0,87 % dengan hasil perbandingan yang terukur dari alat dan Pasco Timer adalah 0,79 m/s dan 0,79 m/s dengan perubahan frekuensi sebesar 41,24 kHz. Berbeda pada saat kecepatan maksimum terukur pada Alat dan Pasco Timer yaitu sebesar 0,94 m/s dan 0,90 m/s dengan kesalahan pengukuran sebesar 3,10 %.

3. Perbandingan pengukuran kecepatan pada jarak antar photogate 70 cm

Pengukuran pada jarak 70 cm dilakukan sebagai pembandingan nilai kecepatan Alat dengan Pasco timer. Sama halnya dengan pengukuran pada jarak antar photogate 30 cm dan 50 cm dimana didapatkan data dengan variabel peubah berupa tegangan dan dihasilkan nilai perubahan frekuensinya. Diperoleh data pengukuran perubahan tegangan terhadap kecepatan suatu benda yang dibandingkan dengan kecepatan yang diperoleh dari pengukuran Pasco timer. Pada pengukuran jarak antar photogate 70 cm diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil pengukuran nilai tegangan terhadap perubahan frekuensi dan kecepatan

No	Tegangan (V)	f_s (kHz)	f_E (kHz)	\bar{v}_{alat} (m/s)	\bar{v}_{pasco} (m/s)	Error (%)
1	7,00	41,05	41,19	0,58	0,56	3,84
2	7,30	41,05	41,21	0,66	0,61	7,07
3	7,60	41,05	41,21	0,68	0,65	4,20
4	7,90	41,05	41,23	0,73	0,69	5,51
5	8,20	41,05	41,23	0,77	0,73	5,49
6	8,50	41,05	41,24	0,80	0,74	8,08
7	8,80	41,05	41,25	0,83	0,75	11,17
8	9,10	41,05	41,26	0,88	0,78	12,26
9	9,40	41,05	41,27	0,92	0,83	9,96
10	9,70	41,05	41,28	0,94	0,85	10,75

Berdasarkan Tabel 4.5. diperoleh data berupa kecepatan (m/s) dari hasil pengukuran alat terhadap Pasco Timer yang memiliki kesalahan terbesar yaitu 12,26 % dengan nilai perubahan frekuensi sebesar 41,26 kHz. Pengukuran dilakukan setiap perubahan tegangan 0,3 Volt untuk dapat mengetahui perubahan frekuensi alat. Kesalahan terkecil terdapat pada saat tegangan 7 V yaitu sebesar 3,84 % dengan hasil perbandingan yang terukur dari alat dan Pasco Timer adalah 0,58 m/s dan 0,56 m/s dengan perubahan frekuensi sebesar 41,19 kHz. Berbeda pada saat kecepatan maksimum terukur pada Alat dan Pasco Timer yaitu sebesar 0,94 m/s dan 0,85 m/s dengan kesalahan pengukuran sebesar 10,75 %.

B. Pembahasan

Pada hasil pengukuran kecepatan menggunakan Alat dan Pasco Timer ini terdapat kesesuaian teori dimana pada prinsip efek Doppler perubahan frekuensi akan menjadi semakin besar jika pendengar diam sedangkan sumber frekuensi bergerak mendekati pendengar. Nilai perubahan frekuensi yang didapat dalam pengukuran memiliki selisih perbedaan yang sedikit yaitu sebesar 10 Hz. Hal ini disebabkan karena pengukuran perubahan frekuensi bersifat fluktuatif sehingga mempengaruhi tingkat keakurasiannya, faktor yang mempengaruhi frekuensi yaitu suhu, kelembaban dan gaya gesek udara.

Pada masing-masing pengukuran dengan jarak antar photogate yang berbeda, terjadi perbedaan nilai kecepatan antara 30 cm, 50 cm dan 70 cm yang menunjukkan bahwa motor ketika awal bergerak tidak langsung bergerak secara konstan melainkan gerak dipercepat sampai akhirnya bergerak secara konstan, hal ini di buktikan dengan nilai error yang semakin besar. Pengukuran kecepatan pada alat ini dilakukan dengan melihat serial monitor arduino untuk mengetahui perubahan frekuensinya serta menggunakan persamaan (6) untuk mendapatkan nilai kecepatan.

Pengukuran kecepatan dilakukan setiap perubahan 0,3 Volt, tegangan yang digunakan berkisar 7 Volt sampai dengan 9,7 Volt sehingga didapatkan hasil pengukuran dari alat ini sebesar 0,60 m/s sampai dengan 0,95 m/s dengan perubahan frekuensi dari 41,19 kHz – 41,28 kHz untuk jarak antar photogate 30 cm dan sebesar 0,57 m/s sampai dengan 0,93 m/s dengan perubahan frekuensi 41,19 kHz – 41,27 kHz untuk jarak antar photogate 50 cm selanjutnya di dapatkan hasil sebesar 0,59 m/s sampai dengan 0,94 m/s dengan perubahan frekuensi 41,19 kHz – 41,28 kHz pada jarak antar photogate 70 cm. Jika tegangan yang digunakan kurang dari 7 Volt maka motor belum bisa bergerak secara stabil sehingga hasil pengukuran akan menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan teori. Sedangkan pada tegangan diatas 9,7 Volt motor bergerak terlalu cepat yang dapat menyebabkan gangguan friksi dan bisa merusak sistem mekanik.

Hubungan tegangan terhadap perubahan frekuensi dan kecepatan yaitu berbanding lurus, semakin tinggi nilai perubahan frekuensi maka kecepatan pada pengukuran akan semakin besar sebaliknya jika perubahan frekuensi semakin kecil maka kecepatan pada pengukuran akan semakin berkurang pula. Pengukuran kecepatan menggunakan alat ini memiliki error terbesar yaitu 5,76 % pada jarak antar photogate 30 cm dan pada jarak antar photogate 50 cm memiliki error terbesar yaitu 6,54 % sedangkan pada jarak antar photogate 70 cm memiliki error terbesar yaitu 12,26 %, terlihat nilai error semakin besar dikarenakan motor belum bergerak secara konstan, hal ini ditunjukkan dengan selisih waktu yang semakin besar, semakin besar nilai selisih-nya maka sistem mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB), namun yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah jarak antar photogate 30 cm karena pada jarak tersebut sistem mengalami gerak yang paling mendekati konstan atau Gerak Lurus Beraturan, karena dalam perumusan efek Doppler pada penelitian ini adalah benda yang bergerak secara konstan.

Hasil penelitian yang didapat dalam pengukuran ini memiliki tingkat keakurasiannya yang lebih rendah dari penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian sebelumnya memiliki rata-rata error sebesar 3,5 % (T.J Bensky.2001), sedangkan pada alat ini memiliki error tertinggi sebesar 5,76 % pada jarak antar photogate 30 cm, hal ini dikarenakan pada penelitian sebelumnya menggunakan sistem Air Track yang kecepatannya bergerak hampir mendekati konstan, sedangkan pada sistem alat ini menggunakan motor DC sebagai penggeraknya.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian, hasil-hasil penelitian dan pembahasan pada bab IV, maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil perancangan alat ukur kecepatan menggunakan sensor ultrasonik berdasarkan efek Doppler ini terdapat kesesuaian teori dimana pada teori efek Doppler perubahan frekuensi akan menjadi semakin besar jika pendengar diam sedangkan sumber frekuensi bergerak mendekati pendengar. Pada masing-masing pengukuran dengan jarak antar photogate yang berbeda, terjadi perbedaan nilai kecepatan antara jarak 30 cm, 50 cm dan 70 cm sebagai acuan dalam menentukan kecepatan pada percobaan efek Doppler. Nilai kecepatan didapatkan dengan mengatur tegangan motor sebagai tenaga penggerak.

Hubungan tegangan dengan perubahan frekuensi dan kecepatan yaitu berbanding lurus, semakin tinggi tegangan yang diberikan terhadap motor maka perubahan frekuensi dan kecepatan pada pengukuran akan semakin besar sebaliknya jika tegangan motor semakin kecil maka perubahan frekuensi dan kecepatan pada pengukuran akan semakin berkurang pula.

Pengukuran kecepatan menggunakan alat ini memiliki error terbesar adalah 5,76 % pada jarak acuan antar photogate 30 cm yaitu pada perubahan frekuensi 41,23 kHz dan pada jarak antar photogate 50 cm memiliki error terbesar adalah 6,54 % yaitu pada perubahan frekuensi 41,27 kHz sedangkan pada jarak antar photogate 70 cm memiliki error terbesar adalah 12,26 % yaitu pada perubahan frekuensi 41,26 kHz, terlihat nilai error semakin besar dikarenakan motor belum bergerak secara konstan, hal ini ditunjukkan dengan selisih waktu yang semakin besar, semakin besar nilai selisih waktu maka sistem mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Pengukuran frekuensi bersifat fluktuatif sehingga mempengaruhi tingkat keakurasiannya, faktor yang mempengaruhi frekuensi yaitu suhu, kelembaban, gaya gesek udara serta pancaran gelombang ultrasonik yang bersifat menyebar.

Saran

Pada penelitian ini perancangan alat ukur kecepatan menggunakan sensor ultrasonik berdasarkan efek Doppler memiliki tingkat keakurasiannya yang kurang baik yaitu sekitar 5 % dikarenakan sistem tidak bergerak secara konstan, maka diharapkan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan sistem yang mendekati konstan seperti pada *Air Track* milik PASCO.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackerman *et al.* 1988. *A perspective on non-invasive diagnosis of carotid disease*. Vol. 29, pp. 615-622.
- Bueche. 1986. *Principles of Physics*. John Wiley and Sons. Mac Graw Hill.
- Cameron and Skofronick. 1978. *An Introduction to Acoustic*. Eindhoven University of Technology.
- Chalim, M. Diana. 2012. *Rancang Bangun Alat Ukur Efek Doppler pada Gelombang Ultrasonik*. Jakarta: Program S-1 Fisika Universitas Indonesia.

Giancoli. Douglas C. 2001. *Physics Principles With Applications, Fifth Edition*. Jakarta: Erlangga.

Halliday, D & Robert Resnick. 1985. *Fundamentals of Physics Third Edition*. Jakarta: Erlangga.

Jamaluddin. 2014. *Perancangan Sensor Digital Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Untuk Pengukuran Ketinggian Permukaan Air*. Surabaya: Program S-1 Fisika Universitas Negeri Surabaya.

M. Reza Primadi, Adhani Prima Syarafina, Ria Dwi Marantika. *Eksperimen Efek Doppler dari Sumber Bunyi Bergerak Lurus dengan Sistem Multimedia Based Laboratory*. Yogyakarta: Program S-1 Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan.

S.M. Torres & W.J. Gonzales Espada. 2006. Calculating "g" from Acoustic Doppler Data. Vol. 44, pp. 536-539.

Sasaki, K. Stanley. 1992. *Ultrasonic Experiments Illustrate Doppler and Differential Time-of-Arrival Measurement Techniques*. Vol. 35, No. 3, pp. 217-219.

Sutrisno. 1986. *Fisika Dasar : Mekanika. Jilid 2*. Bandung: Institute Teknologi Bandung

T.J. Bensusky & S.E. Frey. 2001. *Computer sound card assisted measurements of the acoustic Doppler effect for accelerated and unaccelerated sound sources*. Vol. 69, No 1231.

Tipler, P. A. & Mosca, G. 1998. *Physics for Scientist and Engineers Third Edition*. Jakarta: Erlangga.

Utomo, T. Budi. 2009. *Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler AVR ATMEGA 16*. Surabaya: Program S-1 Fisika Universitas Negeri Surabaya.

Zemansky, Sears. 1994. *Fisika Mekanika Panas Bunyi. Jilid 1*. Bandung: Binacipta