

Pemodelan Instrumen Pengukur Kecepatan dan Percepatan Benda menggunakan Prinsip Efek Doppler

Asri Setyaningrum^{1,a)}, Muhammad Zaki^{2,b)}, Akfiny Hasdi Aimon^{3,c)} dan Neny Kurniasih^{2,d)}

¹Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

³Kelompok Keilmuan Fisika Material Elektronik,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} setyaningrum.asri@gmail.com

^{b)} mzaki.personal@gmail.com

^{c)} akfiny@fi.itb.ac.id

^{d)} neny@fi.itb.ac.id

Abstrak

Pemodelan fenomena efek Doppler dalam penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara frekuensi yang didengar oleh pengamat dan frekuensi yang dipancarkan oleh sebuah sumber bergerak dengan kecepatan atau percepatan tertentu. Selanjutnya pemodelan ini dapat digunakan untuk pembuatan instrumen untuk mengukur kecepatan dan percepatan dari sebuah benda bergerak yang memancarkan bunyi dengan frekuensi tertentu. Perancangan instrumen ini dijelaskan secara menyeluruh dimulai dari jenis "sensing element" yang digunakan, jenis "signal conditioning" yang digunakan, hingga tahap "signal processing" yang akan dilakukan. Hasil pemodelan data pada penelitian ini menunjukkan beberapa contoh perbandingan frekuensi yang ditangkap oleh receiver dengan frekuensi yang dipancarkan dari sebuah benda bergerak dengan kecepatan tertentu. Pemodelan ini juga menunjukkan data seperti apa yang akan didapatkan dari keluaran sebuah "mic condenser" dan yang kemudian akan dianalisis pada mikrokontroler menjadi data kecepatan dan percepatan benda. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pembuatan instrumen pengukur kecepatan dan percepatan benda dengan menggunakan prinsip efek Doppler mungkin untuk dilakukan.

Kata-kata kunci: Kecepatan, Percepatan, Efek Doppler, Frekuensi

PENDAHULUAN

Efek Doppler merupakan sebuah fenomena mengenai berubahnya frekuensi sumber yang didengar oleh pendengar. Gambar. 1 menunjukkan bahwa panjang gelombang efektif dari bunyi yang dipancarkan dari sebuah benda yang bergerak mendekati pendengar yang diam dalam rentang waktu t akan menjadi lebih pendek dan memberikan frekuensi yang lebih tinggi dikarenakan kecepatan dari gelombang suara tidak berubah. Dari geometri Gambar. 1 dapat diturunkan Persamaan (1) sebagai berikut,

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - v_s} f_{sumber} \quad (1)$$

Persamaan (2) menunjukkan panjang gelombang dari gelombang yang dipancarkan,

$$\lambda' = (v - v_s)T = (v - v_s) \frac{\lambda_s}{v} = \left(1 - \frac{v_s}{v}\right) \lambda_s \quad (2)$$

sehingga rasio antara perubahan panjang gelombang dengan panjang gelombang adalah,

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{(1 - \frac{v_s}{v})\lambda_s - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{-v_s}{v} \tag{3}$$

Sementara itu, panjang gelombang efektif dari bunyi yang dipancarkan dari sebuah benda yang menjauhi pendengar akan menjadi lebih panjang, sehingga dihasilkan frekuensi yang lebih rendah^[1].

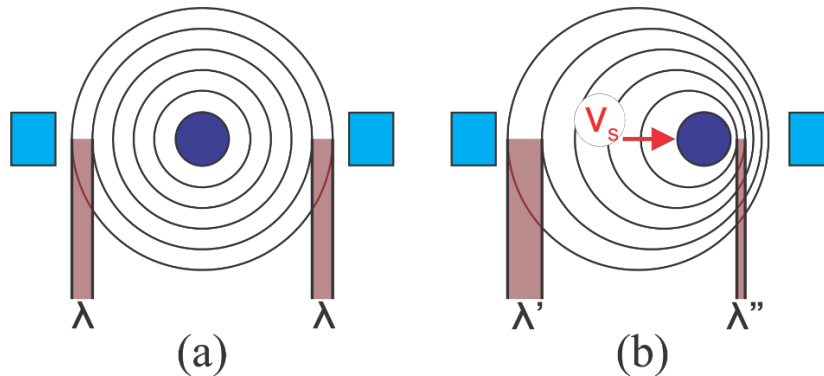
$$f'' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v + v_s} f_{sumber} \tag{4}$$

maka,

$$\lambda'' = (v + v_s)T = (v + v_s) \frac{\lambda_s}{v} = \left(1 + \frac{v_s}{v}\right) \lambda_s \tag{5}$$

sehingga,

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{(1 + \frac{v_s}{v})\lambda_s - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{v_s}{v} \tag{6}$$



Gambar 1. Model perbedaan panjang gelombang saat sumber mendekat dan menjauhi pendengar

Prinsip utama dalam perancangan instrumen pendeteksi kecepatan benda ini terletak pada kemampuan menganalisis frekuensi yang dipancarkan oleh sumber. Pada perumusan Doppler, kecepatan sumber suara maupun kecepatan pendengar merupakan sebuah konstanta. Namun, pada penelitian ini, instrument yang dirancang dapat mendeteksi percepatan benda dengan menggunakan data perubahan kecepatan benda pada setiap rentang waktu tertentu.

$$f = \frac{c + v_p}{c + v_s} f_0 \tag{7}$$

dengan $v_p = 0$,

$$f = \frac{c}{c + v_s} f_0 \tag{8}$$

maka,

$$v_s f = c(f_0 - f) \tag{9}$$

sehingga,

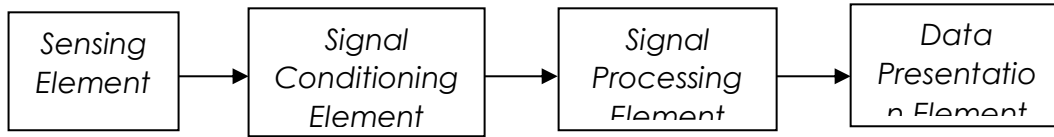
$$v_s = c \left(\frac{f_0}{f} - 1 \right) \tag{10}$$

Pemodelan fenomena efek Doppler dalam penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara frekuensi yang didengar oleh pengamat dan frekuensi yang dipancarkan oleh sebuah sumber bergerak dengan kecepatan atau percepatan tertentu. Selanjutnya pemodelan ini dapat digunakan untuk pembuatan instrumen untuk mengukur kecepatan dan percepatan dari sebuah benda bergerak yang memancarkan bunyi dengan frekuensi tertentu

METODE

Dalam penyusunan sebuah instrument pengukur suatu besaran dibutuhkan empat bagian utama yaitu *sensing element*, *signal conditioning element*, *signal processing element*, dan *data presentation*^[1] seperti pada Gambar. 2. Bagian *sensing element* menggunakan *mic condenser* sebagai input audio. Bagian *signal conditioning* menggunakan penguat kelas AB dan *active band pass filter*. Sinyal keluaran dari *mic condenser* akan dikuatkan terlebih dahulu sebelum memasuki *filter*. Penguat yang kelas AB digunakan karena sinyal yang dikuatkan tidak mengalami distorsi seperti penguat kelas A namun memiliki efisiensi daya yang lebih baik ($\pm 60\%$) seperti penguat kelas B.^[2] *Active Band Pass Filter* pada bagian *signal conditioning* menggunakan op-amp LM741^[3]. Penguatan yang dilakukan pada bagian *filter* ini tidak terlalu diperhitungkan, karena penguatan sinyal sudah

dilakukan menggunakan penguat kelas AB. Penggunaan resistor variabel pada *filter* ini hanya ditujukan untuk mengatur rentang frekuensi yang akan dianalisis dengan asumsi pada saat pengukuran perkiraan frekuensi sumber dapat diketahui dan untuk meminimalisir data frekuensi *background* saat pengukuran.

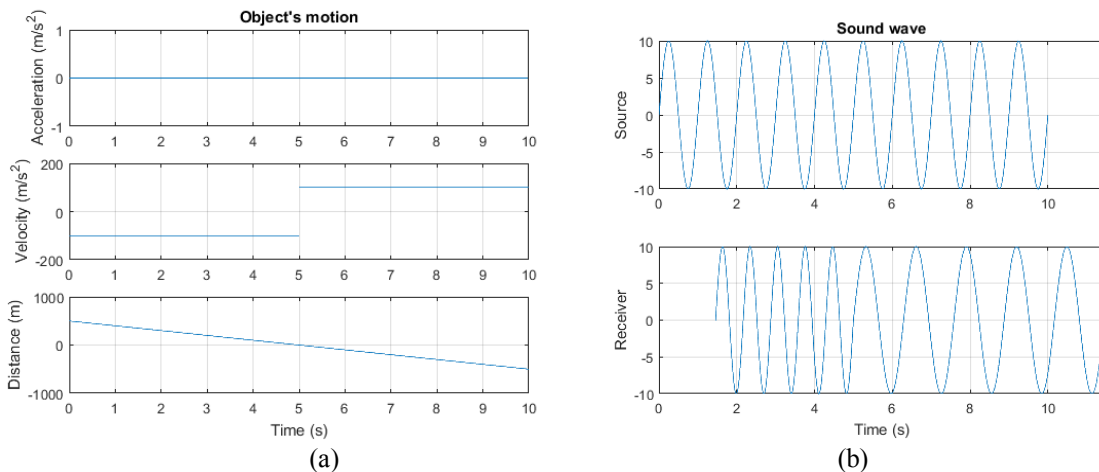


Gambar 2. Sistem instrumentasi penelitian

Selanjutnya, *mikrokontroler* digunakan pada bagian *signal processing element*. Sinyal keluaran dari filter yang berupa data frekuensi akan dianalisis menggunakan *mikrokontroler* ini sehingga didapatkan data kecepatan benda. Data *sampling* frekuensi diambil dengan jeda waktu dalam orde mili sekon. Perbedaan frekuensi ini akan menghasilkan data kecepatan benda yang berubah yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut menjadi data percepatan benda. *Data presentation element* dalam rancangan ini dapat menggunakan karakter LCD 16 x 2 ataupun display LED 5 inci.

HASIL PEMODELAN DAN PEMBAHASAN

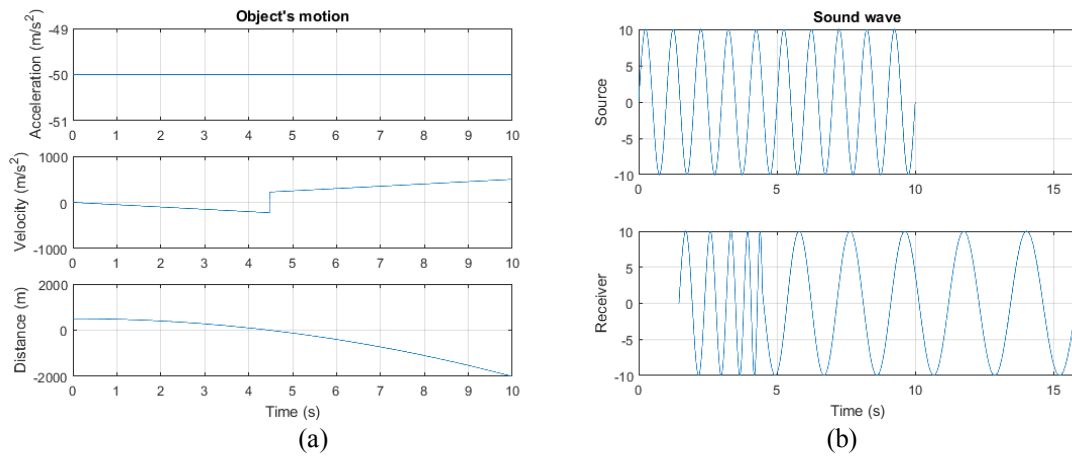
Pada penelitian ini dilakukan pemodelan data gelombang suara yang diterima oleh *receiver* yang diam dari sumber suara yang bergerak dengan berbagai percepatan, yaitu 1) percepatan nol, 2) percepatan konstan, 3) perlambatan konstan, dan 4) percepatan tidak tetap. Gambar. 3 merupakan data pemodelan benda yang bergerak dengan kecepatan tetap. Gambar. 3(a) memberikan informasi bahwa benda bergerak mendekati *receiver* kemudian di detik 6.5 menjauhi *receiver*. Gambar. 3(b) menunjukkan frekuensi yang dipancarkan oleh sumber adalah konstan, namun frekuensi yang diterima oleh *receiver* berubah-ubah. Saat sumber mendekati *receiver* dengan kecepatan konstan frekuensi sumber yang diterima oleh *receiver* lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi yang dipancarkan oleh sumber. Kemudian, saat sumber menjauhi *receiver* dengan kecepatan konstan maka frekuensi yang diterima *receiver* akan lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang dipancarkan oleh sumber. Perbedaan tinggi dan rendah frekuensi dapat dilihat dari kerapatan garis pada Gambar. 3(b).



Gambar 3 (a). Grafik pemodelan saat sumber memiliki kecepatan konstan (b) Grafik pemodelan frekuensi saat sumber memiliki kecepatan konstan

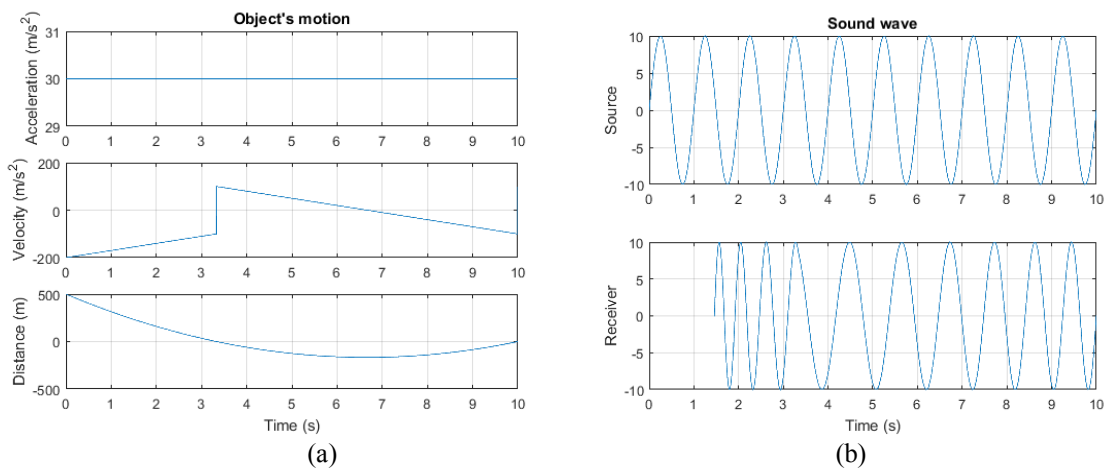
Gambar. 4 merupakan data pemodelan benda yang bergerak dengan percepatan konstan. Gambar. 4(a) menunjukkan informasi bahwa sumber bergerak dipercepat mendekati *receiver* dengan dipercepat menuju *receiver* dan kemudian saat melewati detik ke-6 sumber bergerak dipercepat menjauhi *receiver*. Nilai akselerasi bernilai negatif bermakna benda dipercepat menuju x negatif. Gambar. 4(b) menunjukkan perbedaan antara frekuensi yang dipancarkan oleh sumber dan frekuensi yang diterima oleh *receiver*. Frekuensi sumber sebenarnya adalah 1 Hz. Saat sumber mendekati *receiver* dengan percepatan konstan frekuensi sumber yang diterima oleh *receiver* akan lebih tinggi dan semakin tinggi dibandingkan dengan frekuensi yang dipancarkan oleh sumber. Kemudian, saat sumber mulai menjauhi *receiver* dengan percepatan konstan, maka frekuensi sumber yang

diterima oleh *receiver* akan lebih rendah dan semakin rendah dibandingkan dengan frekuensi yang dipancarkan sumber.



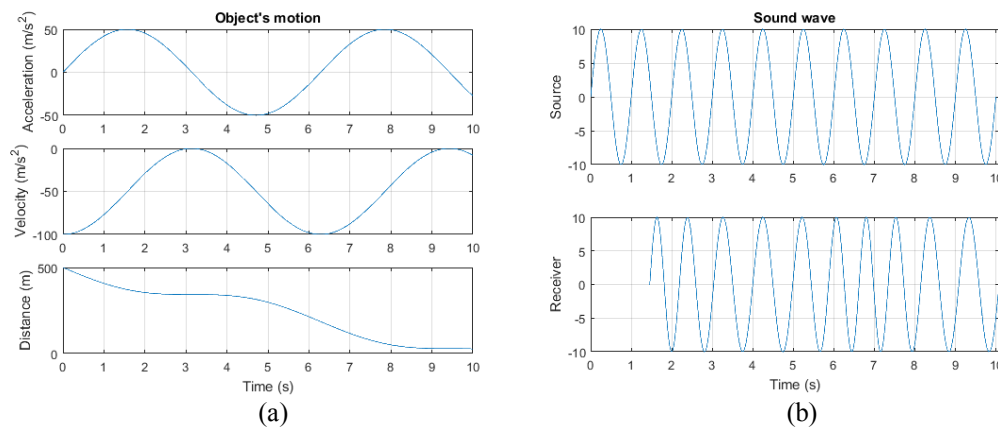
Gambar 4 (a). Grafik pemodelan saat sumber memiliki percepatan konstan (b) Grafik pemodelan frekuensi saat sumber memiliki percepatan konstan

Gambar. 5 merupakan data pemodelan dari sebuah benda yang bergerak dengan perlambatan konstan. Gambar. 5(a) menunjukkan bahwa sumber bergerak mendekati *receiver* dengan perlambatan konstan kemudian setelah detik ketiga sumber mulai menjauhi *receiver* dengan perlambatan konstan. Gambar. 5(b) menunjukkan perbedaan antara frekuensi yang dipancarkan oleh sumber dengan frekuensi yang diterima oleh *receiver*. Saat sumber bergerak mendekati *receiver* dengan perlambatan konstan, frekuensi yang diterima *receiver* lebih tinggi namun kemudian semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sumber bergerak mendekati *receiver* namun dengan perlambatan bukan percepatan. Kemudian, saat sumber menjauhi *receiver*, frekuensi yang diterima *receiver* lebih rendah dan semakin rendah.



Gambar 5 (a). Grafik pemodelan saat sumber memiliki perlambatan konstan (b) Grafik pemodelan frekuensi saat sumber memiliki perlambatan konstan

Gambar. 6(a) merupakan data benda yang bergerak dengan percepatan acak. Gambar. 6(b) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara frekuensi yang dipancarkan oleh sumber dan frekuensi yang diterima oleh *receiver*. Rapat dan renggang garis pada gambar tersebut memberikan informasi bahwa benda sedang bergerak mendekati atau menjauhi *receiver* dengan percepatan atau perlambatan tertentu.



Gambar 6 (a). Grafik pemodelan saat sumber memiliki percepatan acak (b) Grafik pemodelan frekuensi saat sumber memiliki percepatan acak

Data pemodelan frekuensi yang diterima oleh *receiver* pada setiap jenis gerak benda merupakan data yang akan dihasilkan oleh *mic condenser*. Data frekuensi yang berubah-ubah setiap waktu tersebut akan dianalisis menggunakan persamaan (11) dengan bantuan mikrokontroler sehingga dapat dihasilkan nilai dari kecepatan dan percepatan benda bergerak yang sedang diamati.

SIMPULAN

Pemodelan data menunjukkan terdapat perbedaan gelombang bunyi yang didapatkan oleh receiver dan gelombang bunyi yang dipancarkan oleh sumber. Perancangan instrument untuk pengukuran kecepatan dan percepatan dari sebuah benda bergerak yang memancarkan bunyi mungkin untuk dilakukan. Optimasi rancangan masih terus dilakukan sebelum pembelian komponen agar instrumen yang dibuat dapat seefisien mungkin.

REFERENSI

- Bentley, John P. 2005. *Priciples of Measurement System*. Malaysia: PEARSON Prentice Hall
 Bolton, W. 2006. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
 Clayton, George and Steve Winder. 2004. *Operational Amplifier (Fifth Edition)*. Jakarta: Penerbit Erlangga