

Perancangan Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Menggunakan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik

Nanda Bagus Prawira^{*1}, Abdul Rouf²

¹Prodi Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

²Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

e-mail: ^{*1}nandabagus2907@gmail.com, ²rouf@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Massa jenis merupakan pengukuran massa persatuan volume. Cara mengukur massa jenis pada umumnya dengan menimbang berat zat cair tersebut dan membaginya dengan volume zat cair yang terukur, maka dengan cara ini pengukuran tidak efisien karena harus mengukur terlebih dahulu massa zat dan volume zat yang akan diukur. Pengukuran massa jenis zat cair berdasarkan kecepatan ultrasonik menjadi alternatif agar pengukuran dapat dilakukan secara langsung, akurat, praktis, dan mudah.

Kecepatan gelombang ultrasonik yang terukur menjadi variabel untuk menentukan massa jenis zat cair. Pada bagian receiver disematkan logika sinkronisasi waktu. Sinkronisasi waktu dimulai saat transmitter ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik dan diakhiri pada saat receiver menerima gelombang ultrasonik. Metode pengiriman gelombang ultrasonik secara diskrit dilakukan bila receiver ultrasonik menerima pemancaran dari transmitter ultrasonik maka pulsa sinyal 40KHz dihentikan lalu pengiriman gelombang ultrasonik diulang hingga mendapatkan 10 kali data pengukuran.

Dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan. Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekentalan zat cair, kecepatan gelombang ultrasonik melewati aquades 1394m/s, kecepatan gelombang ultrasonik melalui minyak goreng 1387m/s, kecepatan gelombang ultrasonik melalui sabun cair 1175m/s, kecepatan gelombang ultrasonik melalui larutan sabun cair 40% 1317m/s, kecepatan gelombang ultrasonik melalui larutan sabun cair 70% 1257m/s, penyimpangan pengukuran kecepatan sebesar 0,43% dan penyimpangan perhitungan massa jenis sebesar 0,01%.

Kata kunci — UPS (Ultrasonic Ping Sensor), zat cair, massa jenis, ultrasonik, kecepatan ultrasonik.

Abstract

Density is a measure of the mass of volume unity. How to measure density in general by measuring the weight and dividing it by the volume of liquid, so in this way the measurement is not. Measurement of the density of the liquid based on the ultrasonic velocity becomes an alternative so that the measurement can be done directly, accurately, practically, and easily.

Ultrasonic velocity becomes the variable to determine the density of the liquid. Time synchronization begins when the ultrasonic transmitter emits ultrasonic and is terminated when the receiver receives ultrasonic. The discrete ultrasonic wave transmission method is performed when the ultrasonic receiver receives transmittance from the ultrasonic transmitter then the 40KHz signal pulse is stopped and ultrasonic transmission is repeated up to 10 times the measurement data.

From this study obtained some conclusions. Ultrasonic velocity is influenced by the viscosity of the liquid, ultrasonic velocity through 1394m / s aquades, ultrasonic velocity through cooking oil 1387m / s, ultrasonic velocity through liquid soap 1175m / s, ultrasonic velocity through liquid soap solution 40% 1317m / s, Ultrasonic velocity through liquid soap solution 70% 1257m / s, velocity measurement deviation of 0.43% and 0.01% density calculation type.

Keywords — UPS (Ultrasonic Ping Sensor), liquids, density, ultrasonic, ultrasonic velocity.

1. PENDAHULUAN

Pengukuran massa jenis pada setiap elemen dan bahan dalam proses produksi memerlukan ketepatan yang tinggi agar hasil produksi memiliki *quality control* yang baik [1]. Terdapat dua metode untuk mengukur massa jenis yaitu secara langsung maupun tidak langsung. Selama ini cara yang dipakai untuk mengetahui satuan massa jenis dari zat cair pada bahan produksi ialah dengan mengambil sampel zat cair dalam proses produksi untuk diukur terlebih dahulu berat benda tersebut dan mencari tahu besar volume benda tersebut, setelah data didapat maka satuan massa jenis akan berupa massa pada tiap satuan volume yang terukur, cara tersebut merupakan salah satu metode pengukuran secara tidak langsung. Metode pengukuran secara langsung ialah dengan melakukan pengukuran pada zat cair yang akan digunakan secara terus menerus atau kontinu selama proses produksi terus berjalan [2]. Metode pengukuran secara langsung akan dapat memonitor secara terus menerus kualitas zat cair bahan produksi.

Ultrasonik merupakan jenis gelombang mekanik, dimana perambatan gelombang ultrasonik akan bergantung pada kerapatan zat yang dilaluinya [3]. Dengan menggunakan frekuensi 40KHz, gelombang ultrasonik mampu menggetarkan partikel zat cair yang dilaluinya [4]. Kecepatan gelombang ultrasonik akan bergantung pada kerapatan zat cair yang dilaluinya, sehingga dengan menguji kecepatan gelombang ultrasonik pada zat cair yang berbeda akan diperoleh waktu perambatan gelombang ultrasonik yang berbeda sesuai dengan kerapatan zat cair yang diujinya. Menurut [2], untuk mengukur massa jenis zat cair terlebih dahulu harus diketahui lama waktu perambatan gelombang ultrasonik pada media zat cair tersebut dan mengkalkulasikannya dengan konstanta tekanan zat cair atau viskositas dari zat cair yang diuji.

Untuk menembus media zat cair gelombang ultrasonik harus memiliki V_{pp} kerja minimal 8V [5]. Sehingga untuk memenuhi V_{pp} yang dibutuhkan dapat dilakukan penguatan menggunakan *operational amplifier*. Pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik dengan menempatkan *transmitter* ultrasonik dan *reciever* ultrasonik secara *direct* [6]. Sinkronisasi untuk memulai pengukuran waktu dilakukan saat *transmitter* ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik dan sinkronisasi untuk mengakhiri pengukuran waktu dilakukan saat *reciever* menerima gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh *transmitter* ultrasonik untuk pertama kalinya.

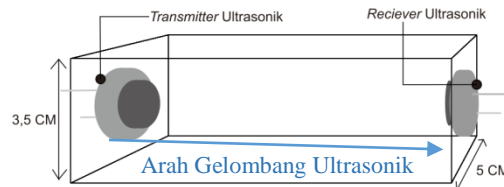
Perancangan alat ini bertujuan untuk mempermudah pengukuran massa jenis zat cair, sehingga semua rancangan akan ditujukan untuk kepraktisan. Pembangkit sinyal 40KHz menggunakan mikrokontroler serta dalam mengukur waktu perambatan gelombang ultrasonik pada media zat cair diperlukan mikrokontroler dengan *clock* internal yang tinggi, hal ini dikarenakan pengukuran waktu perambatan dalam orde *microsecond*. Keberhasilan pengukuran waktu akan sangat bergantung pada jenis mikrokontroler yang digunakan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Analisis Sistem

Rancangan sistem untuk penelitian ini ditujukan agar sistem dapat mendeteksi massa jenis zat cair menggunakan kecepatan rambat gelombang ultrasonik yang transduser ultrasonik *waterproof* secara *direct*. Pengukuran massa jenis berdasarkan kecepatan gelombang ultrasonik yang terukur menjadi *output* dari penelitian ini. [7] Zat cair mempunyai kerapatan zat per volume yang lebih tinggi dari udara, sehingga untuk mengirim gelombang ultrasonik dari transmitter dan agar gelombang ultrasonik dapat diterima oleh receiver diperlukan penguatan gelombang ultrasonik. Dalam pengujian penguatan gelombang ultrasonik agar dapat melalui zat cair dengan baik, maka diketahui gelombang ultrasonik yang dipancarkan transmitter transduser ultrasonik memerlukan penguatan hingga 10V. [8] Dalam mengukur massa jenis zat cair berdasarkan cepat rambat gelombang ultrasonik maka pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada zat cair menjadi hal pertama yang diukur. Pengukuran perambatan waktu gelombang ultrasonik dengan menyematkan transduser ultrasonik pada sebuah wadah

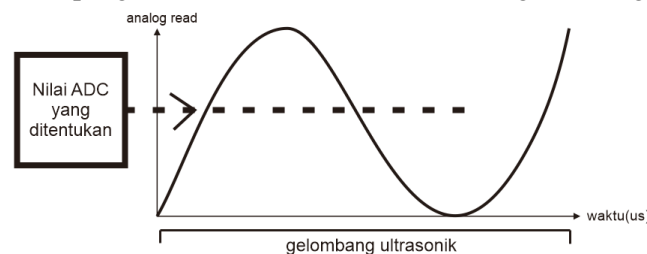
pengujian. Penempatan transduser secara *direct* yang bertujuan *reciever* akan murni mendapatkan gelombang ultrasonik secara langsung tanpa adanya pengaruh pemantulan gelombang ultrasonik. Pada Gambar 1 menunjukkan cara pengukuran secara *direct* pada penelitian ini.



Gambar 1 Pengukuran secara *direct* gelombang ultrasonik

Sinkronisasi waktu dilakukan pada kedua transduser ultrasonik. Sinkronisasi untuk memulai pengukuran waktu perambatan dilakukan oleh transduser ultrasonik yang bertindak sebagai *transmitter* ultrasonik, sedangkan sinkronisasi untuk mengakhiri pengukuran waktu perambatan dilakukan oleh transduser yang bertindak sebagai *reciever*. Saat *transmitter* memancarkan sinyal ultrasonik maka pada saat itu juga kondisi untuk memulai pengukuran aktif. Penghentian pengukuran waktu perambatan dilakukan saat *reciever* ultrasonik menerima gelombang ultrasonik untuk pertama kalinya.

Pengukuran waktu perambatan dilakukan 10 kali untuk mendapatkan data hasil pengukuran yang optimal. Untuk menentukan kondisi bahwa *reciever* ultrasonik mendapatkan pemancaran gelombang ultrasonik oleh *transmitter* maka dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan batas nilai analog pada mikrokontroler yang terukur secara *realtime* oleh *reciever* ultrasonik, nilai yang telah ditentukan menjadi pengkondisi bahwa *reciever* telah menerima gelombang ultrasonik dan sebagai pengkondisi penghentian pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik terdiri dari amplitudo dan frekuensi, frekuensi menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang, sedangkan amplitudo besar gelombang dari puncak ke puncak [9]. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi dari pengkondisi *reciever* telah menerima gelombang ultrasonik.



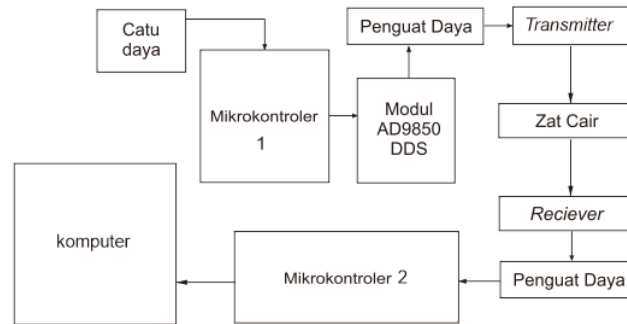
Gambar 2 Ilustrasi Pengkondisi *Reciever*

Pada program pengkondisi pengukuran waktu dimulai menggunakan variabel start, start akan bernilai waktu dalam orde *microsecond*, hal yang sama dikondisikan pada pengkondisi pengukuran waktu berakhir dengan menggunakan variabel finished yang bernilai waktu dalam orde *microsecond*. Dari hasil pengukuran start dan finished maka didapat waktu perambatan gelombang ultrasonik merupakan selisih antara variabel finished dengan variabel start. Setelah waktu terukur maka tahap selanjutnya ialah memasukkan koefisien tekanan zat cair pada program untuk dikalkulasikan dengan waktu yang terukur agar massa jenis zat cair dapat diketahui.

2.2 Rancangan Sistem

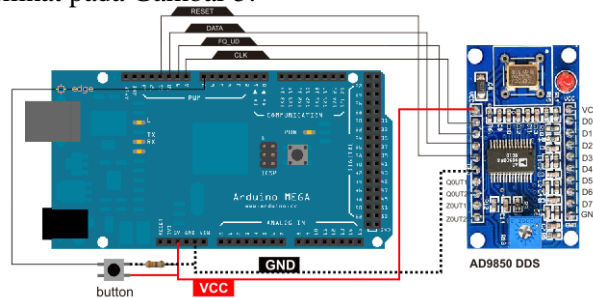
Pada Gambar 3 menunjukkan diagram blok alat secara keseluruhan. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh transmitter transduser ultrasonik sebesar 40KHz yang merupakan frekuensi kerja dari transduser ultrasonik yang dipakai. Tipe transduser ultrasonik yang dipakai ialah yang tahan terhadap air sehingga memiliki kelemahan saat merambat pada

udara. Perancangan alat ini menggunakan dua buah mikrokontroler yang menjalankan tugasnya masing-masing.

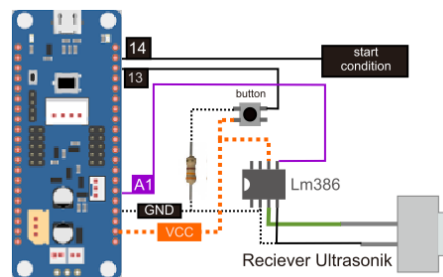


Gambar 3 diagram blok alat

Pada diagram blok terdapat dua mikrokontroler. Mikrokontroler 1 digunakan sebagai pembangkit gelombang ultrasonik yang terintegrasi dengan modul AD9850 DDS sehingga pecahan frekuensi 40KHz akan mempunyai bentuk sinusoidal. Tegangan output dari modul AD9850 DDS sebesar 1,04 V sehingga perlu dikuatkan dengan Op Amp. Mikrokontroler 2 digunakan sebagai sinkronisasi pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik. Konfigurasi mikrokontroler 1 dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan konfigurasi mikrokontroler 2 dapat dilihat pada Gambar 5.

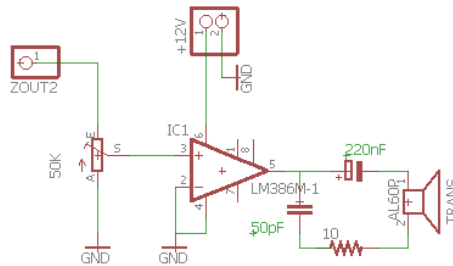
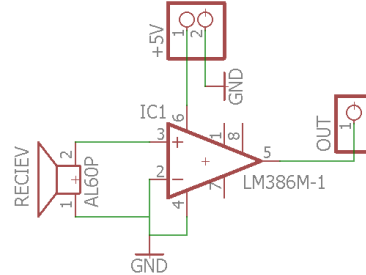


Gambar 4 Diagram sistem mikrokontroler 1

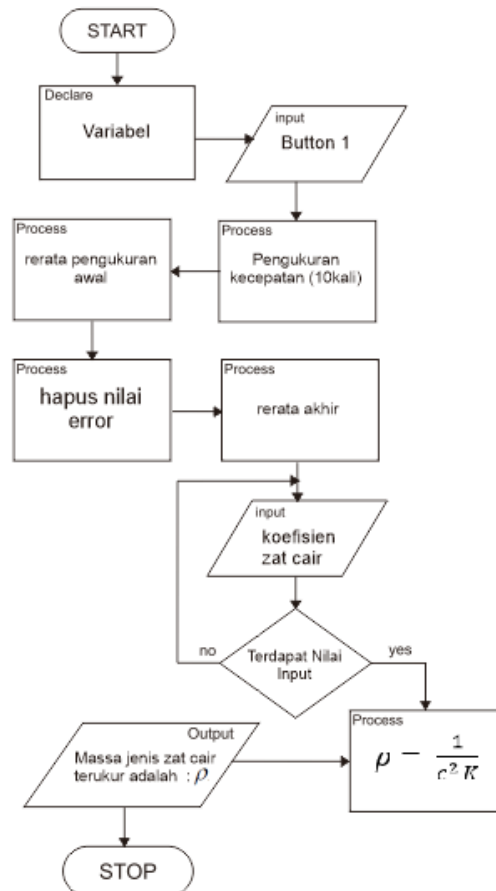


Gambar 5 Diagram sistem mikrokontroler 2

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh modul AD9850 DDS sebesar 1V, gelombang ultrasonik yang melalui zat cair akan mengalami pelemahan sehingga output dari modul AD9850 DDS harus dikuatkan dengan Op Amp. Penguatan bertujuan agar gelombang ultrasonik yang mengalami pelemahan dapat diterima baik oleh *reciever ultrasonik*. Pada bagian *reciever*, nilai terbaca pada pin analog mikrokontroler 2 yang didapat dari *reciever ultrasonik* mempunyai skala mV, sehingga untuk mendapatkan resolusi yang lebih besar diperlukan penguatan tegangan kembali. Resolusi input analog yang besar akan memudahkan peneliti untuk menentukan kondisi *reciever* sudah menerima gelombang ultrasonik[3]. Pada Gambar 6 menunjukkan skematik rangkaian penguat pada bagian *transmitter* dan pada Gambar 7 menunjukkan skematik rangkaian penguat tegangan pada bagian *reciever*.

Gambar 6 Op Amp bagian *transmitter*Gambar 7 Op Amp bagian *reciever*

Mikrokontroler 2 selain mengukur waktu juga akan menghitung massa jenis dari hasil pengukuran. Setelah didapat 10 data hasil pengukuran, pada mikrokontroler dua terdapat fungsi untuk menghilangkan nilai *error* sehingga akan didapat rerata hasil pengukuran yang baik. Gambar 8 menunjukkan diagram alir dari mikrokontroler 2.



Gambar 8 Diagram Alir Mikrokontroler 2

2.3 Bahan Uji

Bahan yang diuji pada penelitian ini terdapat lima macam, yaitu aquades, minyak goreng, sabun cair, larutan sabun cair 40%, dan larutan sabun cair 70%. Pada tabel 1 menunjukkan hasil uji bahan yang digunakan pada penelitian ini pada laboratorium kimia.

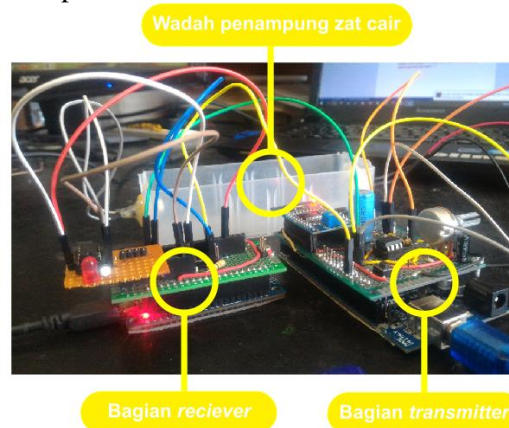
Tabel 1 Hasil uji bahan penelitian

No.	Bahan uji	Massa jenis (g/cm ³)	Koefisien (x10 ⁻⁶)
1	Aquades	1,00	5,1
2	Minyak goreng	0,08	6,0
3	Sabun cair	1,04	6,8
4	Sabun cair 40%	1,01	5,4
5	Sabun cair 70%	1,03	5,6

2.4 Implementasi

2.4.1 Implementasi Elektronik Transmitter

Pada implementasi rangkaian elektronik bagian *transmitter* terdiri dari mikrokontroler Arduino mega, modul AD9850, *button*, penguat tegangan, dan transduser ultrasonik *waterproof* yang berlaku sebagai *transmitter* gelombang ultrasonik. Sedangkan pada bagian *receiver* rangkaian elektroniknya meliputi OpenCM9.04, transduser ultrasonik *waterproof* yang berlaku sebagai *receiver* ultrasonik, penguat tegangan, LED sebagai indikator, dan *button*. Keseluruhan bagian rangkaian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Implementasi elektronik transmitter

2.4.2 Implementasi Zat Cair Bahan Uji

Penelitian ini menggunakan 5 objek dengan 2 objek diantaranya merupakan larutan campuran, sehingga pada dasarnya penelitian ini hanya menggunakan 3 bahan uji pokok yaitu aquades, minyak goreng, dan sabun cair. Dua objek larutan campuran ialah larutan sabun cair dengan presentase yang berbeda. Pada Gambar 10 menunjukkan objek zat cair yang akan diuji.

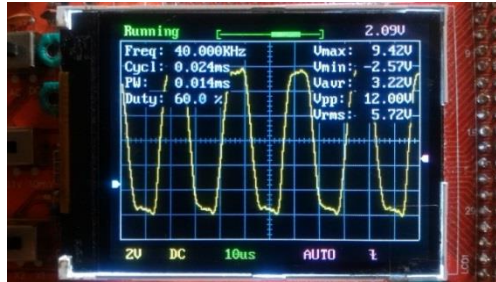


Gambar 10 Implementasi beton dengan cacat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.5 Pengujian Transmitter

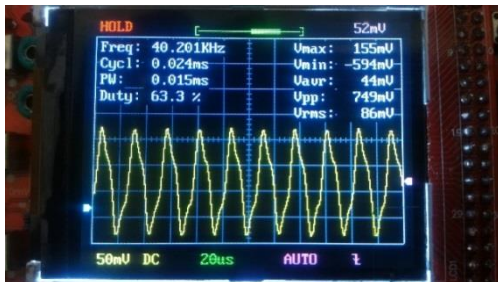
Pada pengujian ini adalah pengujian pembangkitan gelombang ultrasonik sebesar 40KHz yang dihasilkan oleh arduino dan modul AD9850 DDS. Output dari AD9850 DDS akan dikuatkan seperti pada Gambar 11 yang menunjukkan frekuensi tepat sebesar 40KHz dan gelombang ultrasonik yang telah dikuatkan mempunyai tegangan 12V.



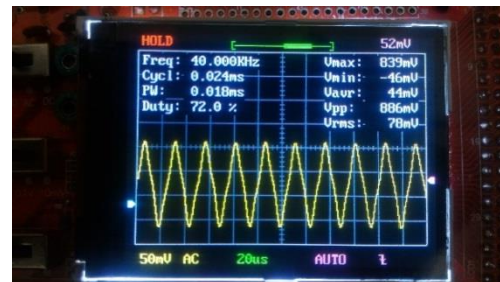
Gambar 11 Pengujian *transmitter* ultrasonik

2.6 Pengujian Reciever Pada Bahan Uji

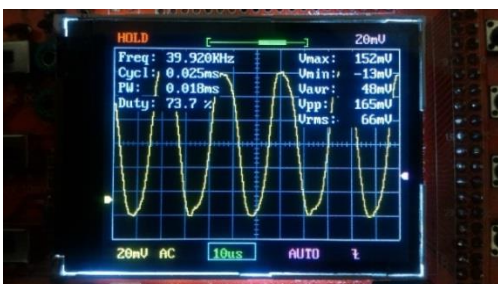
Setiap bahan yang diuji pada penelitian ini memiliki sifat yang berbeda, sehingga perilaku yang didapat gelombang ultrasonik dari setiap bahan yang diuji juga berbeda. Tingkat kekentalan berbanding lurus dengan pelemahan daya. Semakin kental zat cair yang diuji maka semakin kecil daya gelombang ultrasonik yang diterima oleh *reciever*. Berikut hasil pengujian gelombang ultrasonik yang diterima oleh *reciever* sebelum dikuatkan oleh Op Amp ditunjukkan pada Gambar 12.



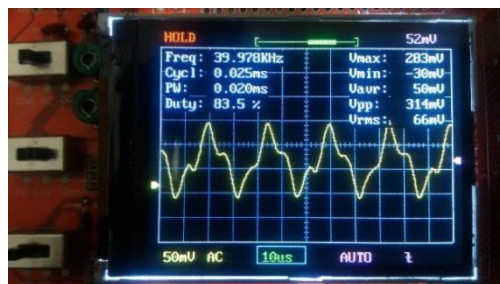
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 12 (a) Hasil uji aquades, (b) hasil uji minyak goreng, (c) hasil uji sabun cair, (d) hasil uji larutan sabun cair 40%, (e) hasil uji larutan sabun cair 70%

Nilai amplitudo yang dihitung dalam oscilloscope berupa satuan div yang kemudian dikalikan dengan nilai skala volt/div pada oscilloscope sehingga didapat sebuah nilai tegangan dalam satuan Volt [10]. Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa tegangan yang diterima *reciever* pada bahan uji aquades sebesar 749 mV, minyak goreng sebesar 886 mV, sabun cair sebesar 165 mV, larutan sabun cair 40% sebesar 314 mV, dan larutan sabun cair 70% sebesar 143 mV.

2.7 Pengukuran Waktu Perambatan

Hasil pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada setiap zat cair memiliki perbedaan yang dipengaruhi oleh bedanya sifat setiap zat cair yang diuji. Berikut tabel hasil data pengukuran dari setiap bahan yang diuji tanpa nilai error, pengukuran berwarna merah menandakan hasil pengukuran yang menyimpang jauh.

Tabel 2 Hasil akhir pengukuran waktu perambatan pada aquades

Pengukuran ke :	Waktu Perambatan (us)
1	0
2	3052
3	3052
4	3087
5	3041
6	3041
7	3042
8	3041
9	0
10	3052
Rata-rata :	3051

Pada Tabel 2 merupakan pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada aquades, pada 10 kali pengukuran terdapat dua nilai yang menyimpang jauh dengan rata-rata tanpa nilai menyimpangnya adalah 3051us.

Tabel 3 Hasil akhir pengukuran waktu perambatan pada minyak goreng

Pengukuran ke-	Waktu Perambatan (us)
1	3037
2	3042
3	3070
4	3072
5	3072
6	3052
7	3071
8	3047
9	3057
10	3047
Rata-rata	3068

Tabel 4 Hasil akhir pengukuran waktu perambatan pada sabun cair

Pengukuran ke-	Waktu Perambatan (us)
1	3659
2	3616
3	3591
4	3601
5	3638
6	3665
7	3609
8	3639
9	3580
10	3610
Rata-rata	3621

Pada Tabel 3 merupakan pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada minyak goreng, pada 10 kali pengukuran tidak terdapat nilai yang menyimpang jauh mempunyai rata-rata 3068us. Pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada sabun cair, pada 10 kali pengukuran tidak terdapat nilai yang menyimpang jauh mempunyai rata-rata 3051us, ditunjukkan pada Tabel 4. Pada Tabel 5 merupakan pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada larutan sabun cair 40%, pada 10 kali pengukuran terdapat satu nilai yang menyimpang jauh dengan rata-rata tanpa nilai menyimpangnya adalah 3230us. Pengukuran waktu perambatan gelombang ultrasonik pada larutan sabun cair 70%, pada 10 kali pengukuran terdapat dua nilai yang menyimpang jauh dengan rata-rata tanpa nilai menyimpangnya adalah 3051us, ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5 Hasil akhir pengukuran waktu perambatan pada sabun cair 40%

Pengukuran ke-	Waktu Perambatan (us)
1	3037
2	3047
3	3052
4	3613
5	3057
6	3575
7	3057
8	3047
9	3588
10	0
Rata-rata	3230

Tabel 6 Hasil akhir pengukuran waktu perambatan pada sabun cair 70%

Pengukuran ke-	Waktu Perambatan (us)
1	3139
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	3062
9	3376
10	3394
Rata-rata	3385

Dari hasil pengukuran beberapa tabel diatas dapat dilihat dan diamati rata-rata hasil setiap ibjek zat cair yang diuji, bahwa semakin kental medium yang dilewati maka semakin lambat kecepatan ultrasonik merambat pada medium tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan pada sifat gelombang yang diterima oleh *reciever* dari setiap bahan yang diuji, semakin kental zat cair maka pelemahan terhadap gelombang ultrasonik semakin besar. Setelah mendapat pengukuran lama waktu perambatan gelombang ultrasonik maka tahap selanjutnya ialah menghitung kecepatan gelombang ultrasonik dan massa jenis zat cairnya. Untuk menghitung massa jenis diperlukan koefisien tekanan zat cair dari setiap bahan yang diuji. Berikut persamaan hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan massa jenis zat cair.

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho K}} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1}{c^2 K} \quad (2)$$

Dimana c merupakan variabel kecepatan ultrasonik dengan satuan m/s, sedangkan ρ variabel massa jenis dengan satuan g/cm^3 , dan K merupakan koefisien tekanan zat cair.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Akhir

3.1.1 Hasil Akhir Pengukuran Aquades

Dari data hasil pengukuran didapat rata-rata waktu perambatan gelombang ultrasonik pada aquades adalah 3051us serta jarak antara *transmitter* dan receiver ultrasonik ialah 12,5 cm. Sehingga didapat nilai kecepatan gelombang ultrasonik yaitu 1394 m/s. Diketahui koefisien tekanan zat cair pada aquades dari uji lab ialah $5,1 \times 10^{-7}$, maka massa jenis aquades yang dihitung pada penelitian ini adalah $1,01 \text{ g/cm}^3$.

3.1.2 Hasil Akhir Pengukuran Minyak Goreng

Dari data hasil pengukuran didapat rata-rata waktu perambatan gelombang ultrasonik pada minyak goreng adalah 3068us serta jarak antara *transmitter* dan receiver ultrasonik ialah 12,5 cm. Sehingga didapat nilai kecepatan gelombang ultrasonik yaitu 1387 m/s. Diketahui

koefisien tekanan zat cair pada aquades dari uji lab ialah $6,0 \times 10^{-7}$, maka massa jenis aquades yang dihitung pada penelitian ini adalah $0,8 \text{ g/cm}^3$.

3.1.3 Hasil Akhir Pengukuran Sabun Cair

Dari data hasil pengukuran didapat rata-rata waktu perambatan gelombang ultrasonik pada minyak goreng adalah 3068us serta jarak antara *transmitter* dan receiver ultrasonik ialah 12,5 cm. Sehingga didapat nilai kecepatan gelombang ultrasonik yaitu 1175 m/s. Diketahui koefisien tekanan zat cair pada aquades dari uji lab ialah $6,8 \times 10^{-7}$, maka massa jenis aquades yang dihitung pada penelitian ini adalah $1,04 \text{ g/cm}^3$.

3.1.4 Hasil Akhir Pengukuran Larutan Sabun Cair 40%

Dari data hasil pengukuran didapat rata-rata waktu perambatan gelombang ultrasonik pada minyak goreng adalah 3230us serta jarak antara *transmitter* dan receiver ultrasonik ialah 12,5 cm. Sehingga didapat nilai kecepatan gelombang ultrasonik yaitu 1317 m/s. Diketahui koefisien tekanan zat cair pada aquades dari uji lab ialah $5,4 \times 10^{-7}$, maka massa jenis aquades yang dihitung pada penelitian ini adalah $1,0 \text{ g/cm}^3$.

3.1.5 Hasil Akhir Pengukuran Larutan Sabun Cair 70%

Dari data hasil pengukuran didapat rata-rata waktu perambatan gelombang ultrasonik pada minyak goreng adalah 3385us serta jarak antara *transmitter* dan receiver ultrasonik ialah 12,5 cm. Sehingga didapat nilai kecepatan gelombang ultrasonik yaitu 1257 m/s. Diketahui koefisien tekanan zat cair pada aquades dari uji lab ialah $5,6 \times 10^{-7}$, maka massa jenis aquades yang dihitung pada penelitian ini adalah $1,02 \text{ g/cm}^3$.

3.2 Pembahasan Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Dari pengukuran kecepatan gelombang ultrasonik yang terukur di atas, maka dengan mengambil sampel kecepatan gelombang ultrasonik yang melalui aquades yaitu 1394 m/s akan didapatkan nilai ralat atau penyimpangan dengan membandingkan data terukur dan data yang sesungguhnya seperti berikut..

$$\begin{aligned} \text{Nilai Penyimpangan} &= \left| \frac{\text{Nilai terbaca} - \text{nilai sesungguhnya}}{\text{nilai terbaca}} \right| \times 100\% \quad (3) \\ &= \frac{1400 - 1394}{1394} \times 100\% \\ &= \frac{6}{1394} \times 100\% \\ &= 0,43\% \end{aligned}$$

Nilai penyimpangan pengukuran kecepatan gelombang ultrasonik ialah 0,43%. Dari perhitungan massa jenis akan diambil satu sampel untuk mengetahui nilai ralat atau penyimpangan. Sampel yang digunakan adalah massa jenis zat cair, berikut hasil perhitungan nilai ralat dari perhitungan massa jenis.

$$\begin{aligned} \text{Nilai Penyimpangan} &= \left| \frac{\text{Nilai terbaca} - \text{nilai sesungguhnya}}{\text{nilai terbaca}} \right| \times 100\% \quad (4) \\ &= \frac{1,01 - 1,0}{1,01} \times 100\% \\ &= \frac{0,1}{1,01} \times 100\% \\ &= 0,10\% \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil merancang dan mengimplementasikan alat untuk mengetahui massa jenis zat cair berdasarkan kecepatan gelombang ultrasonik yang terukur.
2. Sifat zat cair yang diuji memiliki sifat yang berbeda dan dari hasil pengamatan semakin kental zat cair maka semakin besar pelemahannya.
3. Kecepatan gelombang ultrasonik merambat pada aquades adalah 1394 m/s
4. Kecepatan gelombang ultrasonik merambat pada minyak goreng adalah 1387 m/s
5. Kecepatan gelombang ultrasonik merambat pada sabun cair adalah 1175 m/s.
6. Kecepatan gelombang ultrasonik pada larutan sabun cair 40% adalah 1317 m/s.
7. Kecepatan gelombang ultrasonik pada larutan sabun cair 70% adalah 1257 m/s.
8. Massa jenis aquades yang terukur dari penelitian adalah $1,01\text{g/cm}^3$.
9. Massa jenis minyak goreng yang terukur dari penelitian adalah $0,08\text{g/cm}^3$.
10. Massa jenis sabun cair yang terukur dari penelitian adalah $1,04\text{g/cm}^3$.
11. Massa jenis larutan sabun cair 40% yang terukur dari penelitian adalah $1,0\text{g/cm}^3$.
12. Massa jenis larutan sabun cair 70% yang terukur dari penelitian adalah $1,04\text{g/cm}^3$.
13. Kecepatan Gelombang ultrasonik semakin lambat pada medium yang lebih kental.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mylvaganam, S., M. Halstensen, H.E. Engan, and K. Esbensen, 1999, Gas Density Metering in Ultrasonic Gas Flow Meters Using Impedance Measurements and Chemometrics, *IEEE Electronics Symposium*, Vol. 1, Hal. 435-439.
- [2] Haiqun, W., Cao yi, Zhang Yugui, and Chen Zhikun, 2011, The Design of The Ultrasonic Liquid Density Measuring Instrument, *IEEE Conference Publication*, Vol. 1, Hal. 758-760.
- [3] Roy, B.K., K.V. Santhosh, R.K. Bharti., and R. Kanthamani, 2014, LabVIEW Implementation of Liquid Density Measurement Using Ultrasonic Transducers, *IEEE International Conference on Information Communication & Embedded Systems*, 27-28 Feb.
- [4] Xinghua, Li, 1999, Density measurement and its application, *China Metrology*, Vol. 3, Hal. 54-55.
- [5] Terzic, J., Terzic, E., Nagarajah, R., and Alamgir, M., 2013, Ultrasonic Fluid Quantity Measurement in Dynamic Vehicular Applications, *Springer International Publishing Switzerland*, Vol. 1, Hal. 129.
- [6] Schaefer, R. and Hauptmann, P., 2006, Ultrasonic Density Measurement of Liquids – a Novel Method Using a Generalized Singular Value Decomposition Based System Identification, *IEEE Ultrasonics Symposium*, Vol. 1, Hal. 140-143.
- [7] Hughes, S.W., 2006, Measuring Liquid Density Using Archimedes principle, *Physics Education*, Vol. 5, Hal. 445-447.
- [8] Dayou, M., 2004, *Theoretical Basis of Modern Acoustics*, The Science Press, China.
- [9] Sidiq, T.N.S, 2016, Sistem Deteksi Bentuk Kecacatan Benda Padat Menggunakan Teknik Variasi Sudut Ultrasonik, *IJEIS*, No. 1, Vol. 6, Hal. 69-80.
- [10] Zubaidah, S., Mahanal, S., Yuliati, L. dan Sigit, D., 2014, *Ilmu Pengetahuan Alam SMP Kelas 8*, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.