

**SISTEM MONITORING PENGUKUR KETINGGIAN ZAT CAIR PADA HASIL  
KROMATOGRAFI KOLOM MENGGUNAKAN HC-SR04 YANG DIMODIFIKASI**

**KARYA ILMIAH**

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:

**NOVAL SALAHUDDIN AL-AYYUBI**  
**NPM. 21501053020**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS ISLAM MALANG**  
**MALANG**

**2022**

**LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR HASIL**  
**SISTEM MONITORING PENGUKUR KETINGGIAN ZAT CAIR PADA HASIL**  
**KROMATOGRAFI KOLOM MENGGUNAKAN HC-SR04 YANG DIMODIFIKASI**

**KARYA ILMIAH**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Disusun oleh:

**NOVAL SALAHUDDIN AL-AYYUBI**  
**NPM. 21501053020**

Diajukan dan Disahkan oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**M. Taqijuddin A., S.T., M.T.**  
**NIDN. 0019055908**

**Sugiono, S.T., M.T.**  
**NIDN. 0019055908**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Jasa Afroni, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIDN: 0725116902**

# SISTEM MONITORING PENGUKUR KETINGGIAN ZAT CAIR PADA HASIL KROMATOGRAFI KOLOM MENGGUNAKAN HC-SR04 YANG DIMODIFIKASI

Noval Salahuddin Al-Ayyubi, 21501053020<sup>1</sup>, M. Taqijuddin A.<sup>2</sup>, Sugiono<sup>3</sup>  
Mahasiswa Teknik Elektro<sup>1</sup>, Dosen Teknik Elektro<sup>2,3</sup>, Universitas Islam Malang  
[yukival4@gmail.com](mailto:yukival4@gmail.com)

## ABSTRAK

Kromatografi kolom merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan pemisahan bahan kimia tunggal dari sebuah campuran. Kromatografi dapat dilakukan untuk memisahkan substansi majemuk berdasarkan perbedaan penyerapan campuran terhadap cairan penyerap maka dari itu di buat sebuah purwarupa yang menggunakan sensor ultrasonik. Karena ukuran sensor ultrasonik HC-SR04 terlalu besar sehingga tidak dapat melakukan penginderaan pada tabung yang tersedia, maka penelitian ini juga berfokus pada modifikasi sensor tersebut agar mampu beroperasi pada tabung berdiameter kecil. Dari pembangunan perangkat, modifikasi sensor ultrasonik HC-SR04, dan proses pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa tabung yang dapat digunakan memiliki diameter minimum 4,0 cm. Nilai akurasi pengendalian ketinggian zat cair hasil kromatografi pada tabung didapatkan maksimal sebesar  $\pm 50$  cm<sup>3</sup>, dan mampu menghentikan alirannya tanpa tumpah secara otomatis dengan jarak permukaan minimal dari mulut tabung sebesar 1,0 cm. Kesimpulan yang di dapat dari hasil pengujian alat telah berjalan dengan baik, namun perlu ditunjang dengan tambahan sensor dengan metode lainnya untuk memperbaiki akurasi ketinggian permukaan zat cair pada tabung

**Kata kunci:** kromatografi kolom, sistem kendali, pengendali ketinggian zat cair, sensor ultrasonik

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kromatografi kolom merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan pemisahan bahan kimia tunggal dari sebuah campuran. Kromatografi dapat dilakukan untuk memisahkan substansi majemuk berdasarkan perbedaan penyerapan campuran terhadap cairan penyerap. Campuran tersebut akan bergerak dalam kolom pada kecepatan yang berbeda, sehingga akan terbagi dalam beberapa bagian. Oleh karena itu, proses kromatografi kolom sangat penting dalam dunia farmasi, kimia, dan kedokteran.

Saat ini, kebanyakan proses kromatografi menggunakan tenaga manusia, yaitu dengan cara melakukan penakaran manual. Hal ini membutuhkan ketelitian tinggi agar hasil dari kromatografi tersebut tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Karena proses kromatografi memakan waktu yang relatif lama, maka operator yang mengawasi penakaran tersebut harus menjaga secara terus menerus. Hal ini meningkatkan risiko hasil kromatografi melebihi batas, mengingat pekerjaan yang terlalu lama bisa menurunkan konsentrasi operator.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat sebuah sistem otomatisasi untuk menjaga hasil kromatografi dalam batas yang ditentukan tanpa harus dijaga terus menerus. Dalam hal ini, sebuah purwarupa perangkat sistem kendali akan dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler, sensor ultrasonik, dan katup elektronik guna mengendalikan volume hasil proses kromatografi kolom dalam sebuah tabung. Volume cairan dalam sebuah tabung akan berkorelasi dengan ketinggian cairannya, jika

diameter tabung tersebut diketahui. Dengan demikian, sebuah sensor ketinggian menggunakan teknik *time of flight* dari gelombang suara ultrasonik dapat digunakan dalam kasus ini. Mikrokontroler digunakan untuk mengambil keputusan pembukaan atau penutupan katup solenoid yang dapat mengendalikan aliran zat cair yang berasal dari proses kromatografi, berdasarkan nilai *time of flight* dari sensor ultrasonik yang terpasang.

Kesulitan utama adalah ukuran sensor ultrasonik dengan jenis HC-SR04 yang terlalu besar sehingga tidak dapat melakukan penginderaan pada tabung yang tersedia. Hal ini menjadi sebuah tantangan untuk melakukan modifikasi pada sensor ultrasonik tersebut sehingga bisa berfungsi sebagaimana mestinya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan akan dapat membantu menjaga ketelitian volume zat cair dari hasil proses kromatografi kolom yang berlangsung.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perancangan sistem otomatisasi untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom.
2. Melakukan modifikasi pada sensor ultrasonik HC-SR04 agar dapat berfungsi dalam sebuah tabung dengan diameter berukuran kecil.
3. Melakukan perancangan sebuah perangkat purwarupa otomatis untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom.
4. Melakukan pengujian efektivitas perangkat purwarupa otomatis untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses

kromatografi kolom yang telah dikembangkan.

### 1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

5. Bagaimana membangun sistem otomatisasi untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom.
6. Bagaimana melakukan modifikasi sensor ultrasonik HC-SR04 sehingga dapat berfungsi dalam tabung dengan diameter kecil.
7. Bagaimana merancang sebuah purwarupa otomatis untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom.
8. Bagaimana menguji perangkat purwarupa hasil rancangan tersebut.

## II. METODE PENELITIAN

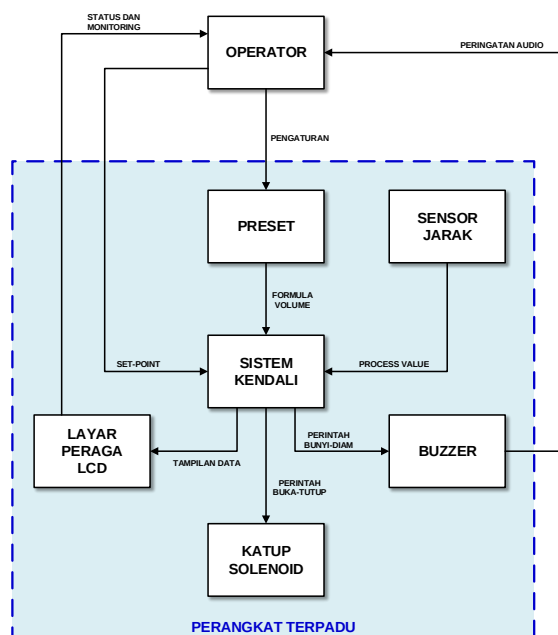
### 2.1. Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Studi Literatur
2. Perancangan Sistem Kendali
3. Perancangan dan Pembuatan Perangkat
4. Pengujian Perangkat
5. Analisis Hasil Pengujian, dan
6. Kesimpulan

### 2.2. Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini dibangun sebuah perangkat otomatis untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom. Blok diagram secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan sistem secara umum.

Sensor yang dipasang pada perangkat terpadu ini akan menghasilkan sebuah nilai berupa jarak permukaan zat cair dari sensor yang berada di bagian atas, dan sistem kendali melakukan kalkulasi untuk mendapatkan nilai volume berdasarkan persamaan yang berlaku dan dimensi tabung yang diatur sebelumnya oleh operator. Sistem ini harus bisa melakukan kalkulasi pada dimensi tabung yang berbeda-beda, baik secara fisik maupun secara perangkat lunak, yang akan dimasukkan dalam memori sistem yang disebut *preset*.

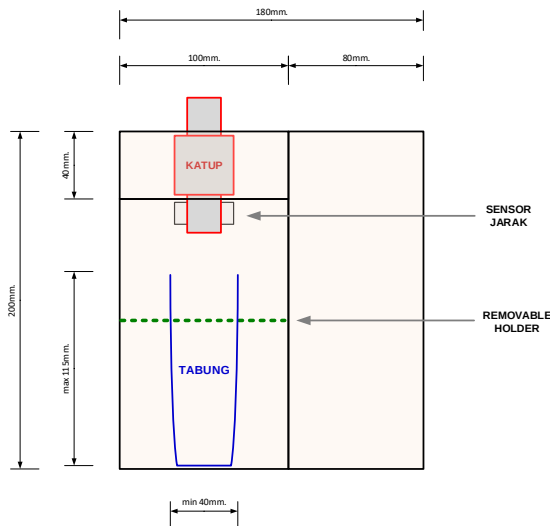
Selain monitoring ketinggian zat cair dalam tabung yang berkorelasi dengan volume tersebut, sistem secara otomatis akan memutuskan aliran zat cair ke dalam tabung jika mencapai volume yang diinginkan sekaligus memberikan peringatan berupa alarm kepada operator. Dalam hal ini, peran sistem kendali adalah untuk melakukan pembukaan atau penutupan katup penyalur zat cair dari hasil proses kromatografi kolom menuju tabung. Operator memberikan *set-point* berupa volume yang harus ditampung dalam tabung, sementara *process value* berasal dari pembacaan sensor jarak yang digunakan sebagai nilai umpan balik pada sistem kendali. Operator mendapatkan informasi dari sistem melalui dua media. Media pertama adalah tampilan teks dari layar peraga LCD. Media kedua adalah peringatan audio dari *buzzer*.

### 2.3. Rancangan Perangkat

Terdapat dua hal utama dalam perancangan perangkat keras otomatisasi monitoring ketinggian zat cair ini. Pertama adalah melakukan perancangan perangkat keras secara keseluruhan sehingga bisa bekerja dengan baik dan bersifat portabel (mudah dipindahkan). Kedua adalah melakukan modifikasi pada sensor ultrasonik HC-SR04 yang semula memiliki lebar 5,0 cm menjadi 3,0 cm agar mampu berfungsi pada mulut tabung dengan diameter minimal 4,0 cm.

### 2.4. Rancangan Fisik

Secara fisik, perangkat akan dirancang dengan dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

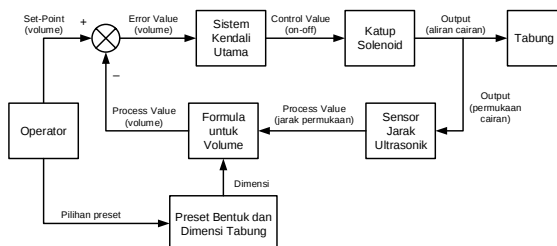


**Gambar 2.** Skema fisik perangkat dari samping kiri.

## 2.5. Rancangan Operasional

Perangkat yang dibangun dibuat memiliki perilaku tertentu agar mampu beroperasi sesuai spesifikasi. Daftar tata cara perilaku ini dituangkan dalam bentuk program yang akan dituliskan pada mikrokontroler ATmega328. Ketika perangkat diberi tenaga, program tersebut akan dieksekusi oleh mikrokontroler, dengan bantuan komponen-komponen sensor dan aktuator yang ada.

Secara umum, prosedur sistem kendali pada perangkat ditunjukkan pada Gambar 3. Dari operator, *set-point* berupa volume target zat cair dalam tabung dibandingkan dengan *process value* dari volume yang terdeteksi pada tabung, menghasilkan *error value* (nilai selisih antara *set-point* dengan *process value*). Nilai dari *error value* ini dikirim menuju sistem kendali untuk diolah. Sistem kendali akan mengambil keputusan untuk menekan angka *error value* tersebut. Keputusan yang dilakukan adalah membuka atau menutup katup solenoid.



**Gambar 3.** Prosedur operasional sistem kendali pada perangkat.

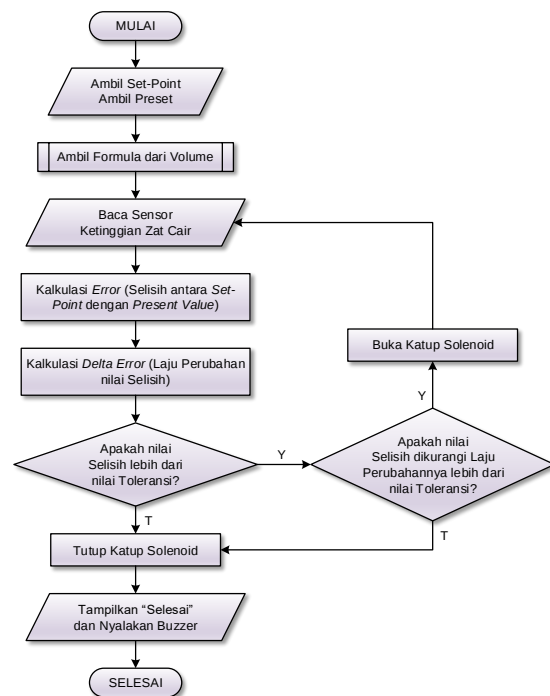
Pada kasus ini, sistem kendali hanya memiliki untuk melakukan koreksi pada nilai *error value* positif, karena aksi pada katup solenoid hanya bisa mengalirkan zat cair (menambah ketinggian) atau menghentikan alirannya. Pengendali tidak bisa mengurangi ketinggian zat cair jika terjadi *error value* negatif. Oleh karena itu, sistem kendali harus

dibuat sedemikian rupa sehingga meminimalisir atau bahkan menghilangkan *overshoot* sama sekali.

Salah satu strategi yang bisa dilakukan untuk menghilangkan *overshoot* adalah dengan melakukan prediksi berdasarkan laju perubahan *error value* pada proses sebelumnya. Rancangan formula untuk mengetahui laju perubahan *error value* ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$de = -\frac{e_t - e_{t-1}}{dt} \quad (1)$$

Dengan adanya prediksi tersebut, sistem akan mampu melakukan aksi menutup katup sebelum zat cair mencapai volume seharusnya, berdasarkan nilai *de* tersebut. Dalam kondisi terjadi *error value* positif yang kecil karena penutupan katup secara prematur tersebut, maka pembukaan kembali katup bisa dilakukan jika nilai *error value* masih di atas *error band* (toleransi) yang ditentukan. Namun jika nilai *error value* sudah berada pada *error band*, maka pembukaan kembali katup tidak dilakukan.



**Gambar 4.** Algoritma utama operasional sistem kendali pada perangkat.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, proses pembukaan katup dilakukan setelah dua pengujian kondisi terlewati, yaitu nilai *error value* yang masih di atas *error band*, ditambah dengan pengujian prediksi *error value* yang dikurangi dengan laju pengurangan *error* masih lebih besar dari *error band*. Jika salah satu tidak tercapai, maka katup akan ditutup dan peringatan diberikan sistem pada operator berupa alarm pada *buzzer* dan tampilan pada layar peraga. Selama proses masih melakukan pembukaan katup, data dari sensor ketinggian zat cair tetap diambil secara terus menerus.



**Gambar 5.** Bentuk tabung yang bisa dipakai pada perangkat ini.

Volume dari zat cair yang ada dalam tabung bisa diketahui jika diketahui bentuk dan dimensi tabungnya serta ketinggian zat cair di dalamnya. Untuk mengantisipasi bentuk tabung yang berbeda-beda, maka akan dipakai formula gabungan penentu volume bentuk silinder dan frustum. Dalam kasus ini, tabung yang dipakai bisa memiliki diameter berbeda antara bagian atas dan bawahnya. Bentuk geometri tabung semacam itu banyak digunakan untuk keperluan laboratorium kimia, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Untuk membuat sistem bisa bekerja dengan macam bentuk tabung yang bervariasi tersebut, maka dibuat gabungan formula untuk mengetahui volume silinder dan frustum. Jika diketahui radius alas  $r$  dan ketinggian  $h$ , maka formula untuk mengetahui volume silinder  $V_c$  ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2)$$

Silinder memiliki radius bagian atas dan bagian bawah yang sama. Sedangkan frustum memiliki radius yang berbeda untuk bagian atas dengan bagian bawahnya. Jika diketahui radius alas  $r_1$ , radius atas  $r_2$ , dan ketinggian  $h$ , maka formula untuk mengetahui volume frustum  $V_f$  ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (3)$$

Setiap penampang dari silinder maupun frustum selalu berbentuk lingkaran. Parameter yang dimasukkan oleh operator bukanlah luas penampang ataupun radius, namun diameter. Oleh karena itu, ditambahkan satu formula untuk mengetahui radius lingkaran  $r$  jika diketahui diameter  $d$ , seperti ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$r = \frac{d}{2} \quad (4)$$

Dengan demikian, maka sistem akan selalu bisa mengetahui volume dari zat cair dalam tabung setiap kali ketinggian dideteksi, asalkan operator memasukkan data dimensi tabung pada *preset* dengan benar. Selain itu, volume zat cair yang diinginkan juga bisa divalidasi secara otomatis oleh sistem sehingga tidak sampai tumpah ketika memberi nilai *set-point* yang melampaui kapasitas tabung tersebut.

Pada perangkat yang dibangun, dimensi setiap tabung akan digeneralisir dengan menggunakan

frustum ganda, yaitu bagian atas dan bagian bawah. Diameter atas frustum bagian bawah akan selalu sama dengan diameter bawah frustum bagian atas. Dengan generalisir semacam ini, maka bentuk tabung majemuk seperti pada Gambar 5 bagian kanan akan bisa digunakan. Jika menggunakan tabung berbentuk silinder, maka tinggal memberi nilai yang sama untuk diameter bawah, tengah, dan atas.

Generalisir bentuk tabung majemuk ini akan menggunakan Persamaan (3) untuk frustum bagian atas dan bagian bawah, sedangkan untuk mendapatkan nilai radius masing-masing bagian (bawah, tengah dan atas) digunakan Persamaan (4). Sehingga dengan demikian masukan pada *preset* yang diperlukan adalah:

1. Diameter atas, dengan kode **SDnA**, dan tampilan **up.d**, yaitu diameter dalam pada penampang bagian atas (mulut) tabung.
2. Diameter tengah, dengan kode **SDnB**, dan tampilan **mid.d**, yaitu diameter dalam pada penampang bagian tengah tabung.
3. Diameter bawah, dengan kode **SDnC**, dan tampilan **low.d**, yaitu diameter dalam pada penampang bagian bawah (dasar) tabung.
4. Total ketinggian, dengan kode **SDnD**, dan tampilan **tot.h**, yaitu ketinggian keseluruhan tabung.
5. Ketinggian bagian tengah, dengan kode **SDnE**, dan tampilan **mid.h**, yaitu ketinggian bagian tengah tabung (jarak dari dasar tabung menuju bagian tengah tabung).
6. Jarak dasar, dengan kode **SDnF**, dan tampilan **base.d**, yaitu jarak dari sensor menuju dasar tabung.

Semua ukuran memiliki satuan sentimeter (cm) dan resolusi 0,1. Huruf **n** pada setiap kode diganti dengan angka yang menyatakan indeks dari *preset*, yang berisi nilai 0 hingga 9.

## 2.6. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi yang akan diberikan pada sistem yang dibangun dirinci menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Sistem harus mampu menyimpan *preset* minimal 10 macam dimensi tabung yang bisa digunakan.
2. Target kesalahan deteksi ketinggian zat cair adalah  $\pm 0,5$  cm, sehingga maksimum ketidakpastian volume untuk diameter maksimum tabung adalah  $\pm 25 \text{ cm}^3$ .
3. Sistem harus mampu mengendalikan aliran zat cair secara otomatis agar target volume hasil kromatografi kolom dalam tabung tidak terlampaui dalam batas toleransi  $\pm 25 \text{ cm}^3$ .
4. Sistem harus mampu memberikan nilai monitoring secara terus menerus sampai target volume terpenuhi.

- Sistem harus bisa memberikan notifikasi audio dan visual ketika proses pengisian zat cair hasil kromatografi kolom telah memenuhi target volume.

## 2.7. Modifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

Salah satu fokus dalam penelitian ini adalah proses modifikasi sensor ultrasonik HC-SR04. Tujuan utama modifikasi sensor ini adalah untuk mendapatkan kemampuan mendeteksi permukaan zat cair yang berada dalam tabung yang memiliki diameter mulut atas hingga minimal 4,0 cm.

Modul HC-SR04 terdiri dari sebuah *transmitter* ultrasonik dan sebuah *receiver* ultrasonik, yang masing-masing memiliki fisik berupa tabung identik dengan diameter luar 1,58 cm. Keduanya tersusun dalam kondisi tersolder di atas PCB yang berjajar dengan jarak dalam 0,99 cm, dan jarak luar 4,17 cm.

Proses modifikasi adalah dengan cara membongkar *transmitter* dan *receiver* tersebut dari PCB, kemudian memindahkannya pada papan PCB baru. Pada papan yang baru, jarak dalam antar keduanya diminimalisir hingga mencapai 0,26 cm. Dengan demikian, jarak luar antar keduanya menjadi 3,38 cm.

Pada papan PCB yang baru, dilakukan penyolderan ulang keduanya serta penyambungan penghantar yang menghubungkan *transmitter* dan *receiver* dengan papan PCB yang sebelumnya. Penghubung *transmitter* dan *receiver* dengan PCB lama dilakukan menggunakan konektor (*male-female header pin*), sehingga sewaktu-waktu bisa dibongkar pasang dengan mudah namun menghasilkan koneksi yang cukup kuat.

Langkah terakhir adalah membuat dudukan akrilik untuk memasang perangkat sensor yang telah dimodifikasi pada kotak perangkat. Dengan adanya dudukan tersebut, maka sensor yang telah dimodifikasi dapat melekat erat pada perangkat, sesuai dengan kebutuhan.

Modifikasi yang telah dilakukan adalah mengubah jarak antar *transmitter* dengan *receiver* dari (lebar total ujung ke ujung) 4,17 cm menjadi 3,38 cm. Pengujian ini dilakukan dengan menyambungkan dengan Arduino Uno yang telah diisi program pendeteksi jarak. Setelah tersambung, dilakukan pengukuran jarak dari sensor menuju dasar dari sebuah tabung kaca. Tabung yang digunakan masing-masing ditunjukkan pada Tabel I.

**Tabel I.** Tabung yang Digunakan dalam Pengujian

| No | Nama | Bahan   | Diameter (cm) |      | Ketinggian (cm) |      | Volume (ml) |       |      |
|----|------|---------|---------------|------|-----------------|------|-------------|-------|------|
|    |      |         | Dalam         | Luar | Dalam           | Luar | Klaim       | Luber | Sela |
| 1  | A1   | Gelas   | 3,9           | 4,7  | 5,8             | 6,0  | 50          | 69    | 45   |
| 2  | A2   | Plastik | 4,3           | 4,7  | 5,9             | 6,1  | 50          | 86    | 57   |
| 3  | B1   | Gelas   | 5,1           | 5,9  | 6,8             | 7,0  | 100         | 139   | 98   |
| 4  | B2   | Plastik | 4,8           | 5,5  | 6,6             | 6,8  | 100         | 119   | 83   |

Volume zat cair yang dapat ditampung tabung yang sesungguhnya diukur berdasarkan aproksimasi dimensi bagian dalamnya. Volume maksimal (sela) yang akan digunakan pada *preset* adalah ketika ketinggian zat cair melampaui jarak 2 cm dari atas, dengan alasan untuk mencegah agar zat cair yang ditampungnya tidak mudah tumpah.

**Tabel II.** Hasil Pengujian Modifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

| No | Tabung | Jarak Sensor dengan Mulut (cm) | Hasil Pembacaan (cm) | Error terhadap Kenyataan (cm) | Keterangan                   |
|----|--------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1  | A1     | 1,6                            | 7,5                  | 0,0                           | Sesuai                       |
| 2  | A2     | 1,5                            | 7,4                  | -0,1                          | Sesuai dalam batas toleransi |
| 3  | B1     | 0,6                            | 7,7                  | +0,3                          | Sesuai dalam batas toleransi |
| 4  | B2     | 0,8                            | 7,3                  | -0,2                          | Sesuai dalam batas toleransi |

Sensor diletakkan di bagian atas, dengan *transmitter* dan *receiver* mengarah ke bawah. Sementara tabung diletakkan di bagian bawah dengan jarak maksimal dari sensor sejauh 4,0 cm. Posisi tabung diletakkan sedemikian rupa hingga diusahakan bagian tengah (pusat lingkaran) sejajar dengan titik tengah antara *transmitter* dan *receiver*. Keberhasilan modifikasi ini akan diindikasikan dengan hasil pembacaan yang menunjukkan jarak dari sensor menuju dasar tabung, yang berarti gelombang suara dari *transmitter* terpantul di dasar tabung dan diterima kembali gemanya oleh *receiver*. Jika bacaan sensor menunjukkan jarak menuju mulut tabung, maka gelombang suara yang dihasilkan *transmitter* dipantulkan oleh mulut tabung lebih dahulu dan dideteksi oleh *receiver* sebelum mencapai dasar, yang mengindikasikan bahwa terjadi kesalahan deteksi. Satuan jarak yang digunakan adalah sentimeter (cm), dengan resolusi 0,1 cm. Batas toleransi kesalahan secara teoritis adalah  $\pm 0,3$  cm, sesuai dengan *datasheet* dari HC-SR04 dan resolusi *timing* dari ATmega328P [21] [16]. Namun agar dapat dipertanggungjawabkan dan estimasi tidak terlalu tinggi, maka batas toleransi kesalahan ditentukan sebesar  $\pm 0,5$  cm pada penelitian ini.

Sesuai dengan Tabel II, maka hasil modifikasi sensor jarak ultrasonik HC-SR04 tersebut dianggap beroperasi sesuai dalam batas toleransi yang diijinkan. Pengujian tersebut masih menggunakan tabung dalam keadaan kosong tanpa diisi cairan, karena hanya menguji keabsahan modifikasi sensor HC-SR04 dalam mereduksi diameter lorong yang akan dideteksi jarak dasarnya, dengan batas minimum diameter dalamnya mencapai 4,0 cm. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan

tidak adanya pantulan suara dari mulut tabung yang langsung dideteksi oleh *receiver*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Fisik dan Mekanik Perangkat

Perangkat monitoring dan pengendali ketinggian zat cair hasil kromatografi kolom yang telah dibangun memiliki fisik dengan ukuran panjang 18 cm, lebar 18 cm, dan tinggi 20 cm.



**Gambar 6.** Tampak sisi depan perangkat.

Tombol yang terdapat pada panel depan adalah tombol tekan **A** (sebelah kiri), tombol tekan **B** (sebelah kanan), serta tombol tekan-putar **R** (bagian tengah). Indikator yang terdapat pada panel depan (tepat di bawah baris tombol) adalah indikator *process* (berwarna biru pada baris pertama), indikator *holder* (berwarna hijau pada baris kedua), dan indikator *mode* (berwarna merah pada baris ketiga). Sisi depan perangkat ditunjukkan pada Gambar 6.

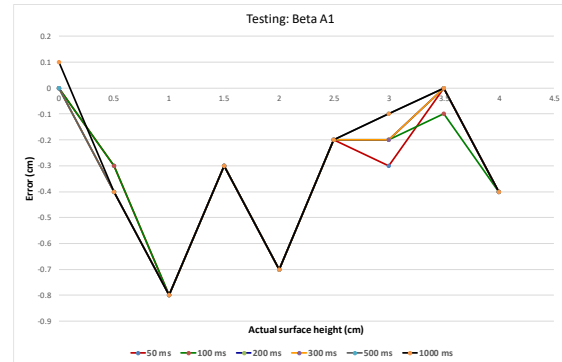
Pada bagian atas perangkat terdapat saklar untuk tenaga, dan terdapat juga lubang berulir untuk menyambungkan dengan selang yang menyalurkan zat cair hasil kromatografi kolom menuju katup solenoid. Bagian kanan perangkat terdapat tempat untuk menyalurkan daya listrik 220 VAC. Sedangkan bagian kiri perangkat terdapat tempat untuk menghubungkan *USB cable* yang berfungsi menyambungkan dengan PC laptop atau desktop.

Di bagian belakang perangkat terdapat lubang untuk memasang *removable holder*, sementara bagian belakang atas terdapat sensor jarak ultrasonik, saluran katup solenoid, dan lampu penerangan. Panjang perangkat keseluruhan akan bertambah 4 cm ketika *removable holder* dipasang.

#### 3.2. Pengujian Deteksi Ketinggian Cairan dalam Tabung

Pengujian ini adalah untuk mengetahui *error* yang terjadi antara ketinggian sesungguhnya dengan ketinggian terdeteksi. Digunakan empat macam tabung untuk diuji, yaitu A1, A2, B1, dan B2, seperti telah ditunjukkan pada 2.7. Tabel I.

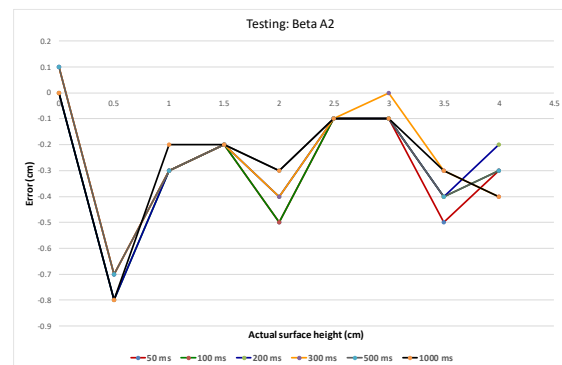
Pengujian pertama menggunakan tabung A1, dengan *error* ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik pengujian tabung A1.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7, dapat diketahui bahwa nilai selisih maksimum yang terjadi pada waktu kosong adalah sebesar +0,1 cm, pada ketinggian 0,5 cm adalah sebesar -0,4 cm, pada ketinggian 1 cm adalah sebesar -0,8 cm, pada ketinggian 1,5 cm adalah sebesar -0,3 cm, pada ketinggian 2 cm adalah sebesar -0,7 cm, pada ketinggian 2,5 cm adalah sebesar -0,2 cm, pada ketinggian 3 cm adalah sebesar -0,3 cm, pada ketinggian 3,5 cm adalah sebesar -0,1 cm, dan pada ketinggian 4 cm adalah sebesar -0,4 cm.

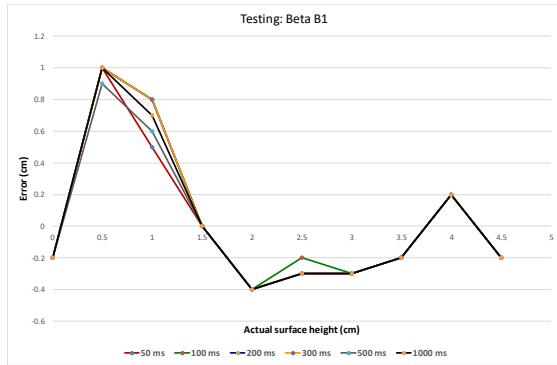
Pengujian kedua menggunakan tabung A2, dengan *error* ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Grafik pengujian tabung A2.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8, dapat diketahui bahwa nilai selisih maksimum yang terjadi pada waktu kosong adalah sebesar +0,1 cm, pada ketinggian 0,5 cm adalah sebesar -0,8 cm, pada ketinggian 1 cm adalah sebesar -0,3 cm, pada ketinggian 1,5 cm adalah sebesar -0,2 cm, pada ketinggian 2 cm adalah sebesar -0,5 cm, pada ketinggian 2,5 cm adalah sebesar -0,1 cm, pada ketinggian 3 cm adalah sebesar -0,1 cm, pada ketinggian 3,5 cm adalah sebesar -0,5 cm, dan pada ketinggian 4 cm adalah sebesar -0,4 cm.

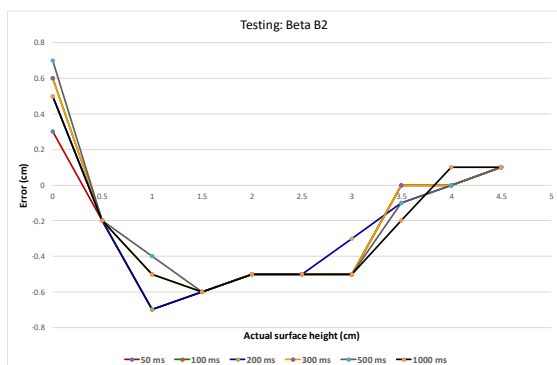
Pengujian ketiga menggunakan tabung B1, dengan *error* ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Grafik pengujian tabung B1.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9, dapat diketahui bahwa nilai selisih maksimum yang terjadi pada waktu kosong adalah sebesar  $-0,2$  cm, pada ketinggian  $0,5$  cm adalah sebesar  $+1,0$  cm, pada ketinggian  $1$  cm adalah sebesar  $+0,8$  cm, pada ketinggian  $1,5$  cm adalah sebesar  $0,0$  cm, pada ketinggian  $2$  cm adalah sebesar  $-0,4$  cm, pada ketinggian  $2,5$  cm adalah sebesar  $-0,3$  cm, pada ketinggian  $3$  cm adalah sebesar  $-0,3$  cm, pada ketinggian  $3,5$  cm adalah sebesar  $-0,2$  cm, pada ketinggian  $4$  cm adalah sebesar  $+0,2$  cm, dan pada ketinggian  $4,5$  cm adalah sebesar  $-0,2$  cm.

Pengujian keempat menggunakan tabung B2, dengan *error* ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Grafik pengujian tabung B2.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 10, dapat diketahui bahwa nilai selisih maksimum yang terjadi pada waktu kosong adalah sebesar  $+0,7$  cm, pada ketinggian  $0,5$  cm adalah sebesar  $-0,2$  cm, pada ketinggian  $1$  cm adalah sebesar  $-0,7$  cm, pada ketinggian  $1,5$  cm adalah sebesar  $-0,6$  cm, pada ketinggian  $2$  cm adalah sebesar  $-0,5$  cm, pada ketinggian  $2,5$  cm adalah sebesar  $-0,5$  cm, pada ketinggian  $3$  cm adalah sebesar  $-0,5$  cm, pada ketinggian  $3,5$  cm adalah sebesar  $-0,2$  cm, pada ketinggian  $4$  cm adalah sebesar  $+0,1$  cm, dan pada ketinggian  $4,5$  cm adalah sebesar  $+0,1$  cm.

Kesalahan deteksi pada semua pengujian ditunjukkan pada Tabel III, yang akan digunakan untuk menentukan akurasi deteksi perangkat.

**Tabel III.** Daftar Error Deteksi dari Pengujian

| Pengujian |          | Selisih (cm) |      |      |      |
|-----------|----------|--------------|------|------|------|
|           |          | A1           | A2   | B1   | B2   |
| Alfa      | Minimum  | 0.0          | -0.2 | -0.3 | -0.4 |
|           | Maksimum | 0.7          | 0.1  | 0.7  | 0.2  |
|           | Rentang  | 0.7          | 0.3  | 1.0  | 0.6  |
| Beta      | Minimum  | -0.8         | -0.8 | -0.4 | -0.7 |
|           | Maksimum | 0.1          | 0.1  | 1.0  | 0.7  |
|           | Rentang  | 0.9          | 0.9  | 1.4  | 1.4  |
| Gamma     | Minimum  | -0.4         | -0.1 | -0.2 | -0.4 |
|           | Maksimum | 1.5          | 0.8  | 1.1  | 0.2  |
|           | Rentang  | 1.9          | 0.9  | 1.3  | 0.6  |
| Delta     | Minimum  | -0.4         | -0.5 | -0.2 | -0.2 |
|           | Maksimum | 3.9          | 0.9  | 0.6  | 0.3  |
|           | Rentang  | 4.3          | 1.4  | 0.8  | 0.5  |

Dengan demikian, kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan semua grafik yang telah ditunjukkan adalah bahwa relasi penyimpangan deteksi antar pengujian dan antar macam tabung tidak dapat ditentukan, sehingga untuk menentukan akurasi harus diambil dari penyimpangan terjauh.

#### IV. PENUTUP

##### 4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Sistem otomatisasi untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom terbukti bisa diwujudkan dengan menggunakan sensor jarak ultrasonik. Dan kesimpulan yang di dapat dari pengujian sistem otomatisasi telah berjalan sesuai yang diharapkan.
2. Modifikasi sensor ultrasonik HC-SR04 telah dilakukan dengan cara mendekatkan *transmitter* dengan *receiver* dari jarak terluar sebelumnya sebesar  $4,17$  cm menjadi  $3,38$  cm, sehingga dapat berfungsi pada tabung dengan diameter kecil hingga ukuran  $4,0$  cm. Dan kesimpulan yang di dapat pada modifikasi sensor telah berjalan dengan baik.
3. Sebuah purwarupa otomatis untuk monitoring ketinggian zat cair dari hasil proses kromatografi kolom telah berhasil dibangun dalam dimensi  $18 \times 18 \times 20$  cm, menggunakan komponen utama mikrokontroler, sensor jarak ultrasonik yang dimodifikasi, dan katup solenoid. Kesimpulan yang di dapat pada purwarupa otomatis moitorig ketinggian zat cair dari proses kromatografi kolom telah berjalan sesuai rencana.
4. Pengujian perangkat purwarupa hasil rancangan tersebut menghasilkan nilai akurasi pengendalian ketinggian zat cair hasil kromatografi pada tabung maksimal sebesar  $\pm 50 \text{ cm}^3$ , dan mampu menghentikan

alirannya tanpa tumpah dengan jarak permukaan minimal dari mulut tabung sebesar 1,0 cm. Sensor jarak ultrasonik yang dimodifikasi dapat digunakan pada sistem ini, namun perlu ditunjang dengan tambahan sensor dengan metode lainnya untuk memperbaiki akurasi ketinggian permukaan zat cair pada tabung. Kesimpulan dari perangkat purwarupa telah berjalan dengan baik.

#### 4.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada penggabungan sensor jarak ultrasonik dengan sensor metode lainnya agar didapatkan nilai akurasi pengendalian ketinggian zat cair hasil kromatografi yang lebih baik.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada pengembangan bagian penyangga tabung penampung zat cair hasil kromatografi untuk bisa menekan kemungkinan tumpahnya cairan pada perangkat karena posisi tabung yang di luar jangkauan katup solenoid.
3. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada pengembangan sensor untuk mendeteksi keberadaan dan ketinggian tabung secara otomatis, sehingga mampu menekan lebih jauh kemungkinan tumpahnya cairan karena tidak adanya tabung atau dimensi yang tidak sesuai dengan *preset* yang dimasukkan oleh operator.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ElecFreaks, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 Product Features," ElecFreaks, Shenzhen, 2010.
- [2] Atmel Corporation, "ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet," Atmel Corporation, San Jose, 2015.
- [3] M. Banz, Getting Started with Arduino, Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.
- [4] S. A. Dyer, Wiley Survey of Instrumentation and Measurement, John Wiley & Sons, 2004.
- [5] S. Heath, Embedded Systems Design, Massachusetts: Newnes, 2003.
- [6] K. Ogata, Discrete-Time Control Systems, New York: Prentice-Hall, 1987.
- [7] Z. Vukić, L. Kuljača, D. Đonlagić and S. Tešnjak, Nonlinear Control Systems, New York: Marcel Dekker, 2003.
- [8] W. J. Terrell, Some Fundamental Control Theory I: Controllability, Observability, and Duality, The American Mathematical Monthly, 1999, pp. 705-719.
- [9] G. Ostojić, S. Stankovski, B. Tejić, N. Đukić and S. Tegeltija, "Design, Control and Application of Quadcopter," *IJIEM*, pp. 43-48, 2015.