

Prototipe Otomatisasi On/Off Suction Cairan Menggunakan Sensor *Non-contact liquid* Di Rumah Sakit Orthopaedi Purwokerto

Meyke Nasya Mauldi
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia

meykenasya@student.telkomuniversity.ac.id

Sevia Indah Purnama, S.S.T., M.T
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia

seviaindah@telkomuniversity.ac.id

Irmayatul Hikmah, S.Si., M.Si
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia

irmayatulh@telkomuniversity.ac.id

Suction pump merupakan salah satu perangkat medis esensial yang digunakan untuk menyedot cairan tubuh selama prosedur pembedahan atau tindakan medis tertentu. Namun, permasalahan yang sering ditemui adalah cairan melebihi kapasitas tabung penampung dan masuk ke dalam mesin pompa, yang dapat menyebabkan kerusakan komponen internal. Kondisi ini umumnya terjadi akibat keterbatasan waktu tenaga medis dalam memantau *volume* cairan secara berkala. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem otomatisasi pada suction pump dengan memanfaatkan sensor non-kontak tipe XKC-Y25-V yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Sensor ini mampu mendeteksi keberadaan cairan tanpa perlu bersentuhan langsung, sehingga mendukung prinsip sterilitas dan keamanan perangkat medis. Sistem dirancang agar secara otomatis memutus aliran listrik ke pompa melalui aktuasi relay ketika volume cairan telah mencapai ambang batas tertentu. Pengujian dilakukan menggunakan dua jenis cairan dengan viskositas berbeda, yakni 66,00 cP (encer) dan 1320,00 cP (kental), untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perbedaan karakteristik fluida. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem memiliki performa tinggi dengan akurasi sensor mencapai 99,14% dan nilai rata-rata kesalahan (error) sebesar 0,86%. Sistem juga terbukti tetap stabil dalam menangani cairan dengan viskositas tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi yang dikembangkan berpotensi meningkatkan efisiensi dan keamanan penggunaan suction pump, serta layak diterapkan di lingkungan rumah sakit atau fasilitas medis lainnya.

Kata kunci: *Suction pump*, Sensor *Non-Contact*, Arduino Uno, Otomatisasi, Relay

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi sangat berpengaruh pada kehidupan manusia khususnya dalam bidang kesehatan karena kesehatan itu sendiri adalah kebutuhan manusia sejak lahir [1]. Bidang kesehatan merupakan salah satu bidang yang menjadi prioritas utama dalam perkembangan teknologi di Indonesia. Kemajuan teknologi dituntut untuk mendukung sistem kesehatan baik

untuk rumah sakit hingga tingkat puskesmas. Perkembangan alat-alat medis yang menunjang fasilitas kesehatan tersebut tentunya sebanding dengan tenaga ahli di Bidangnya [2]. Hal ini menjadi tuntutan utama di karenakan alat-alat yang digunakan akan berhubungan langsung dengan manusia, tentunya berkaitan dengan nyawa klien/pasien [3]. Pelayanan kesehatan yang berkesinambungan perlu didukung dengan peralatan yang selalu dalam kondisi siap pakai serta dapat difungsikan dengan baik. Agar peralatan kesehatan selalu dalam kondisi baik, aman dan layak pakai, diperlukan pemeliharaan berkala [4]. Alat medis yang digunakan di Rumah sakit atau klinik merupakan salah satu contoh perkembangan teknologi, sesuai dengan sifatnya, terdapat dua jenis alat kesehatan yang biasa digunakan pada prosedur kesehatan yaitu alat yang bersifat manual dan juga alat yang bersifat otomatis. Sayangnya karna keterbelakangan biaya, kerap kali alat Kesehatan yang digunakan pada pelayanan Kesehatan masih bersifat manual, sehingga penggunaan alatnya kurang maksimal. cairan *Suction pump* merupakan alat kesehatan yang berfungsi untuk menghisap atau partikel (*Liquid*) pada tubuh manusia ke sebuah wadah pengumpul/tabung yang digerakkan oleh sistem penghisap pada motor kompresor. *Suction pump* biasa digunakan untuk menghisap cairan pada area pernapasan dan juga penghisapan cairan-cairan dalam tubuh manusia ketika dilakukannya Operasi medis [5]. Selain itu, *Suction pump* juga digunakan untuk membantu dan mempermudah para tenaga medis dalam proses operasi, karena suction dapat menghisap cairan-cairan yang tidak dibutuhkan seperti darah dan mucus [3]. Biasanya cairan-cairan tersebut menutupi pandangan dokter ketika melakukan tindakan 1 operasi, oleh sebab itu cairan-cairan tersebut harus dibuang dengan cara dihisap menggunakan *Suction pump* [6]. Pada pemeliharaan alat *Suction pump* masalah-masalah yang ditemukan seperti selang yang bocor, tabung cairan pecah atau bocor, regulator rusak, sehingga proses penggunaan alat terganggu dan kurang optimal. Dan masalah yang kerap terjadi pada *Suction pump* di RS Orthopaedi Purwokerto adalah cairan yang terhisap masuk ke dalam motor suction akibat penggunaannya lalai dan tidak sempat menghentikan mesin *suction pump* sehingga tabung cairan melebihi batasnya dan cairan masuk ke dalam mesin suction. Melihat permasalahan tersebut, maka penelitian ini diarahkan untuk merancang prototipe

otomatisasi *suction pump* yang mampu menghentikan kerja pompa secara otomatis saat cairan telah mencapai batas tertentu. Sistem ini menggunakan sensor *non-contact liquid* yang dipasang di luar tabung untuk mendeteksi keberadaan cairan tanpa menyentuhnya langsung. Dengan metode ini, diharapkan alat dapat bekerja secara lebih praktis, efisien, dan minim risiko kerusakan, karena pompa akan mati secara otomatis begitu cairan mencapai batas maksimum. Selain itu, prototipe yang dikembangkan relatif sederhana, mudah diaplikasikan, dan lebih ekonomis dibandingkan dengan alat-alat otomatisasi medis yang kompleks dan mahal.

II. KAJIAN TEORI

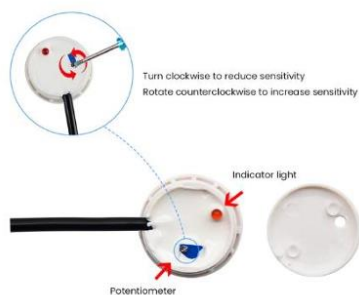
A. Suction pump

Suction pump merupakan alat medis yang terdiri dari motor sebagai penggerak untuk sistem hisap dan tabung sebagai tempat media cairan yang dihisap. Terdiri dari dua buah selang, masing-masing berfungsi sebagai selang hisap dan selang buang, selang hisap dihubungkan langsung dengan pasien dan selang buang dihubungkan dengan sistem hisap dari motor [7].

B. Sensor Non-contact Liquid

Sensor XKC-Y25-V merupakan jenis sensor non-kontak (tanpa sentuhan) yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan cairan tanpa harus bersentuhan langsung dengan media cair. Sensor ini bekerja dengan prinsip kapasitif, yaitu dengan mengenali perubahan nilai kapasitansi yang terjadi saat cairan berada di dekat permukaan wadah. Sensor ini dapat membaca level cairan melalui dinding wadah non-logam seperti plastik atau kaca [7].

Keunggulan utama dari sensor ini terletak pada kemampuannya mendeteksi cairan tanpa kontak fisik, sehingga risiko kontaminasi cairan dapat dihindari—suatu hal yang krusial terutama dalam aplikasi medis. Selain itu, konsumsi daya dari sensor ini tergolong rendah, dan output digitalnya dapat dengan mudah dikoneksikan ke berbagai jenis mikrokontroler, menjadikannya fleksibel untuk berbagai keperluan sistem monitoring cairan otomatis.



Gambar 1 *Sensor Non-contact Liquid*

C. Arduino Uno

Arduino adalah jenis suatu papan (*board*) yang berisi mikrokontroler. Dengan kata lain, Arduino dapat disebut sebagai sebuah papan mikrokontroler. Salah satu papan Arduino yang terkenal adalah Arduino Uno [8]. Papan mikrokontroler ini dilengkapi dengan sejumlah pin yang digunakan untuk berkomunikasi dengan peralatan lain. Arduino sesungguhnya adalah mikrokontroler serbaguna yang memungkinkan untuk diprogram. Berkas

kemampuannya yang efisien dalam penggunaan daya serta sifatnya yang fleksibel, mikrokontroler banyak diaplikasikan dalam sistem otomatisasi, perangkat tertanam (*embedded systems*), robotik, hingga alat-alat medis [9].

D. Relay

Relay merupakan suatu komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh arus listrik. Komponen ini bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana terdapat kumparan berarus rendah yang dililitkan pada inti logam. Ketika arus mengalir melalui kumparan, gaya magnet akan menarik armatur logam ke arah inti sehingga menyebabkan kontak saklar berubah posisi [10]. *Relay* tergolong sebagai perangkat elektromekanis, yang terdiri atas dua bagian utama yaitu elektromagnet dan sistem mekanik pengalih sambungan [11]. Dalam penelitian ini, *relay* digunakan sebagai aktuator *output*, yang akan diaktifkan setelah mikrokontroler Arduino Nano menerima sinyal dari sensor XKC-Y25-V, dan kemudian akan menghentikan kerja motor pada sistem pompa suction cairan [12].

E. Pompa DC

Pompa DC 12V adalah jenis pompa cairan yang digerakkan oleh motor listrik arus searah (*Direct Current*) dengan tegangan kerja sebesar 12 volt [13]. Pompa ini banyak digunakan dalam aplikasi otomatisasi sederhana karena memiliki ukuran yang ringkas, konsumsi daya yang rendah, serta mudah diintegrasikan dengan sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino. Secara umum, pompa DC bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui perputaran *router*, yang selanjutnya menciptakan tekanan untuk mengalirkan cairan melalui saluran pompa [14].

F. Adaptor 12V

Adaptor 12 Volt adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari sumber utama (biasanya 220V AC) menjadi tegangan DC (arus searah) sebesar 12 volt yang stabil. Adaptor ini biasanya digunakan sebagai catu daya (*power supply*) bagi berbagai perangkat elektronik seperti mikrokontroler, sensor, pompa DC, kamera CCTV, dan peralatan rumah tangga kecil lainnya. Di dalamnya, adaptor umumnya terdiri dari beberapa komponen penting seperti transformator *step-down*, dioda penyearah, kapasitor filter, dan regulator tegangan, yang bekerja secara bersama-sama untuk menghasilkan *output* DC yang bersih dan konstan [9].

III. METODE

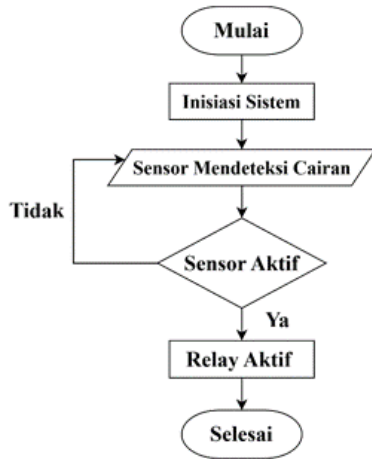
Penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem otomatisasi *suction pump*. Sistem terdiri dari tiga bagian utama yaitu input, proses, dan output.



Gambar 2 Blok Diagram

Bagian input menggunakan sensor *non-contact* yang mendeteksi cairan dan mengirimkan sinyal digital ke pin D7

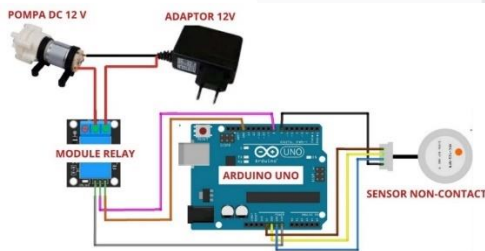
Arduino UNO. Arduino memproses sinyal tersebut dan mengaktifkan pin D8 untuk mengendalikan modul *relay* KY-019. *Relay* berfungsi memutus atau menghubungkan arus dari adaptor 12V ke pompa DC 12V. Pin IN *relay* terhubung ke D8 Arduino, sementara VCC dan GND *relay* ke 5V dan GND Arduino. Jalur daya menggunakan kabel positif adaptor ke COM *relay* dan positif pompa ke NO *relay*, dengan kabel negatif langsung ke pompa. Pompa hanya aktif saat *relay* mendapat sinyal dari Arduino.



Gambar 2 *Flowchart* Sistem Alat

Gambar 2 menggambarkan alur kerja sistem otomatisasi pompa berbasis sensor non-kontak. Proses diawali saat sistem dinyalakan dan mikrokontroler melakukan inialisasi pin, menetapkan sensor sebagai input dan *relay* sebagai output. Selanjutnya, sensor secara kontinu membaca keberadaan cairan di luar tabung tanpa kontak langsung. Jika sensor mendeteksi cairan (logika HIGH), Arduino akan mengaktifkan *relay* untuk memutus arus ke pompa, sehingga pompa berhenti bekerja. Sistem dirancang sebagai eksekusi satu arah, artinya pompa tidak akan aktif kembali setelah dinonaktifkan, guna mencegah luapan dan memastikan operasi yang aman.

Gambar Berikut merupakan diagram skema perangkat yang dibuat:



Gambar 3 Diagram Skema Perangkat

Gambar 3 menunjukkan diagram rangkaian perangkat yang dirancang dalam penelitian ini. Sensor XKC-Y25 digunakan untuk mendeteksi objek (seperti cairan) tanpa kontak langsung dan terhubung ke pin D7 Arduino. Sensor diberi daya melalui pin 5V dan GND Arduino, dan akan mengirimkan sinyal digital ke Arduino saat objek terdeteksi.

Sinyal ini diproses oleh Arduino, yang kemudian mengaktifkan pin D8 untuk mengirimkan sinyal logika HIGH ke modul *relay* KY-019. *Relay* bertindak sebagai saklar elektronik yang mengatur arus dari adaptor 12V ke pompa DC 12V. Pin COM *relay* dihubungkan ke kabel positif adaptor, dan pin NO ke kabel positif pompa, sementara kabel negatif adaptor langsung terhubung ke pompa. Dengan

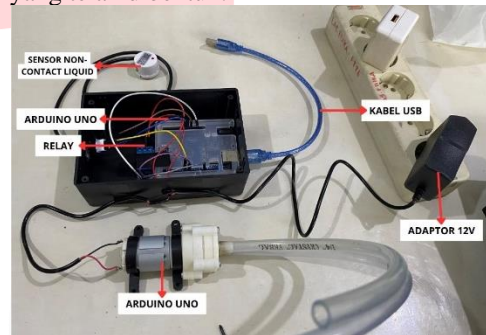
konfigurasi ini, pompa hanya akan aktif ketika Arduino memberi sinyal ke *relay*, sehingga sistem dapat bekerja otomatis dan terkontrol.

Penelitian ini melakukan tiga jenis pengujian untuk mengevaluasi sistem. Pertama, Akurasi Sensor untuk menguji ketepatan pembacaan sensor terhadap *volume* cairan percobaan lalu dibandingkan dengan nilai aktual. Kemudian pengaruh viskositas untuk menguji performa suction pada dua cairan dengan viskositas berbeda (66 cP dan 1320 cP) dengan pengukuran waktu alir dan *flowrate*. Yang terakhir merupakan pengujian *volume* vs waktu untuk mengamati kestabilan waktu dan laju aliran cairan 66 cP pada berbagai *volume*, serta menghitung rata-rata dan standar deviasi *flowrate*.

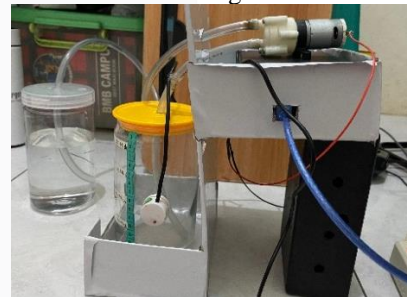
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Perangkat

Pada penelitian ini, prototipe telah dirangkai sesuai dengan diagram skematik di Gambar 3. Berikut merupakan prototipe yang telah dibentuk:



Gambar 4 Rangkaian Alat



Gambar 5 Perangkat Prototipe

Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi alat infus otomatis berbasis Arduino Uno. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung, yaitu sensor non-contact liquid yang berfungsi mendeteksi keberadaan cairan pada tabung tanpa kontak langsung, Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang mengatur logika kerja alat, *relay* sebagai saklar elektronik yang menghubungkan dan memutus arus ke pompa, serta pompa yang berperan mengalirkan cairan dari tabung ke selang menuju pasien. Adaptor 12V digunakan sebagai sumber daya utama, sementara kabel USB berfungsi untuk pemrograman Arduino dan juga dapat menjadi sumber daya alternatif. Seluruh rangkaian ini dirancang agar sensor dapat mendeteksi level cairan, kemudian data tersebut diolah oleh Arduino. Jika level cairan terdeteksi cukup, *relay* akan mengaktifkan pompa sehingga cairan dapat dialirkan ke pasien secara otomatis. Dengan desain ini, alat mampu

memudahkan kontrol cairan infus dan mengurangi risiko kesalahan manual dalam pemberian cairan kepada pasien.

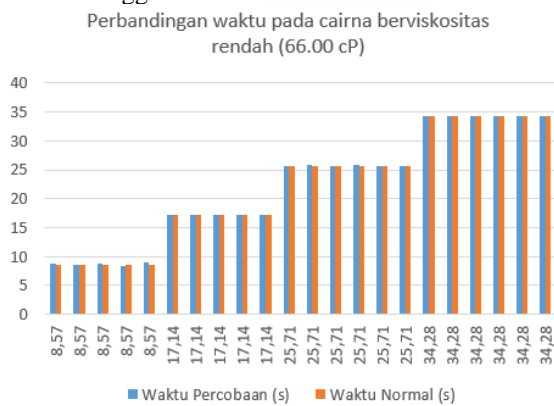
B. Hasil Pengujian dan Analisa

a. Akurasi Sensor

Pengujian akurasi dilakukan dengan mengisi cairan 500 mL (ketinggian 7 cm pada tabung) dan dilakukan sebanyak 20 kali. Sensor XKC-Y25-V menunjukkan akurasi tinggi sebesar 99,14% dengan rata-rata error 0,86%, menunjukkan pembacaan sensor sangat presisi dan konsisten.

b. Pengujian *Volume* Terhadap Waktu Pada Cairan Viskositas 66 cP

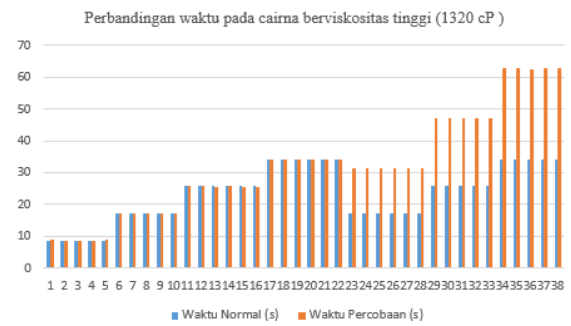
Pengujian hubungan *volume* terhadap waktu dan *flowrate* pada cairan viskositas 66,00 cP menunjukkan hasil yang stabil dan konsisten. Untuk *volume* 200 mL hingga 800 mL, *flowrate* yang dihasilkan berkisar antara 23,09–23,34 mL/s, dengan rata-rata waktu pengisian mendekati waktu normal pada tiap *volume*. Semakin besar *volume* cairan, deviasi waktu dan *flowrate* semakin kecil, menandakan sistem bekerja lebih stabil pada *volume* tinggi. Nilai standar deviasi yang rendah ($\pm 0,42$ hingga $\pm 0,027$ mL/s) menunjukkan bahwa sensor dan pompa mampu menjaga akurasi dan kestabilan kinerja, bahkan saat menangani cairan dengan viskositas sedang. Hal ini membuktikan bahwa sistem prototipe layak digunakan untuk aplikasi medis yang memerlukan ketepatan dan keandalan tinggi.



Gambar 6 Perbandingan waktu percobaan dan waktu normal pada viskositas rendah

c. Pengujian *Volume* Terhadap Waktu Pada Cairan Viskositas 1320 cP

Pengujian dengan cairan viskositas tinggi (1320 cP) menunjukkan bahwa sistem tetap mampu bekerja secara stabil dan konsisten meskipun terjadi perlambatan aliran akibat kekentalan cairan. Pada setiap *volume* (200, 400, 600, dan 800 mL), waktu pengisian meningkat hampir dua kali lipat dibanding kondisi normal, namun *flowrate* rata-rata tetap stabil di kisaran 12,7 mL/s, dengan standar deviasi yang kecil ($< \pm 0,1$ detik untuk waktu, $< \pm 0,08$ mL/s untuk *flowrate*). Hal ini menunjukkan bahwa sistem prototipe mampu mengatur aliran cairan kental dengan akurasi dan kestabilan tinggi, yang sangat penting dalam penggunaan medis seperti penyedotan lendir atau cairan luka. Meskipun performa melambat karena viskositas, tidak terjadi fluktuasi signifikan, sehingga sistem layak digunakan dalam skenario klinis yang memerlukan ketelitian dan keandalan.



Gambar 7 Perbandingan waktu percobaan dan waktu normal pada viskositas tinggi

d. Perbandingan *Flowrate* pada Dua Viskositas Cairan

• *Volume* 200 mL

Pengujian dilakukan untuk membandingkan performa sistem pada cairan 66 cP dan 1320 cP dengan *volume* tetap 200 mL. Rata-rata *flowrate* pada cairan 66 cP adalah 23,35 mL/s, sedangkan pada 1320 cP turun menjadi 12,72 mL/s. Waktu pengisian juga meningkat hampir dua kali lipat, menunjukkan bahwa viskositas sangat mempengaruhi debit dan waktu alir. Meski terjadi penurunan performa pada cairan kental, sistem tetap menunjukkan kestabilan.

• *Volume* 400 mL

Hasil serupa juga ditemukan pada *volume* 400 mL. *Flowrate* rata-rata untuk cairan 66 cP adalah 23,25 mL/s dan untuk 1320 cP hanya 12,71 mL/s. Waktu pengisian meningkat dari 17,2 detik (66 cP) menjadi 31,48 detik (1320 cP). Sistem tetap stabil meskipun menghadapi hambatan viskositas yang tinggi.

• *Volume* 600 mL

Pada *volume* 600 mL, cairan 66 cP menghasilkan rata-rata *flowrate* sebesar 23,33 mL/s, sedangkan cairan 1320 cP hanya 12,71 mL/s. Waktu pengisian meningkat dari rata-rata 25,71 detik menjadi 47,21 detik. Penurunan *flowrate* tetap dalam batas yang stabil dan sistem menunjukkan kinerja konsisten.

• *Volume* 800 mL

Pada *volume* terbesar yaitu 800 mL, rata-rata *flowrate* untuk cairan 66 cP tercatat 23,34 mL/s, sedangkan untuk 1320 cP adalah 12,73 mL/s. Waktu pengisian naik dari 34,28 detik menjadi 62,87 detik. Meskipun terjadi penurunan hingga 45% dalam debit aliran, sistem masih mampu mengalirkan cairan kental secara efisien dan stabil.

e. Presentase Error dan Akurasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor *non-contact liquid* dalam mendeteksi ketinggian cairan pada tabung berkapasitas maksimum 1000 mL. Pengukuran difokuskan pada *volume* cairan 500 mL, yang secara geometris setara dengan ketinggian 7,0 cm pada tabung silinder berdiameter 9,5 cm dan tinggi total 14 cm. Sensor diposisikan pada ketinggian 7 cm sebagai acuan deteksi batas *volume* cairan. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali guna memperoleh data yang memadai untuk analisis statistik dan kuantitatif.

Tiga parameter utama yang digunakan untuk menilai kinerja sensor adalah Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan tingkat akurasi.

• *Mean Absolute Error* (MAE)

MAE (*Mean Absolute Error*)

$$\text{MAE} = \frac{\text{Jumlah Error Absolut}}{\text{Total pengujian}} = 0,06 \text{ CM}$$

$$\text{MAE} = \frac{1,8}{20} = 0,09 \text{ CM} \quad (1)$$

- Mean Absolute Percentage Error (MAPE)
MAPE (Mean Absolute Percentage Error):
$$\text{MAPE} = \frac{\text{Jumlah Error Persen}}{\text{Total pengujian}} = \frac{17,14}{20} = 0,85 \%$$

MAPE = 0,857% (2)
- Tingkat Akurasi MAPE terhadap 100%:
$$100\% - \text{MAPE} = 99,15 \%$$
 (3)

Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 20 kali, sensor *non-contact liquid* menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam mendeteksi ketinggian cairan pada *volume* 500 mL. Dari keseluruhan percobaan, sebanyak 12 kali sensor mampu membaca ketinggian cairan dengan tepat di angka 7,0 cm, yang merupakan nilai referensi sebenarnya. Sementara itu, 8 pengukuran lainnya menunjukkan deviasi kecil antara 0,1 hingga 0,3 cm dari nilai sebenarnya.

Jika dirata-ratakan, kesalahan pengukuran sensor (MAE) hanya sebesar 0,09 cm, yang berarti selisih antara hasil pembacaan sensor dan ketinggian aktual sangat kecil. Ini menandakan bahwa sensor memiliki akurasi tinggi dan kesalahan yang minim, bahkan hampir tidak terlihat secara kasatmata. Selain itu, nilai MAPE sebesar 0,857% juga menunjukkan bahwa kesalahan dalam bentuk persentase sangat rendah dan jauh di bawah batas toleransi umum, yang biasanya berada di bawah 5% untuk pengukuran presisi.

Dengan hasil ini, tingkat akurasi sensor mencapai 99,14%, yang berarti sensor dapat diandalkan hampir secara penuh dalam setiap pengukuran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor bekerja secara stabil dan konsisten, bahkan saat diuji dalam kondisi yang berulang.

Adapun variasi kecil dalam pembacaan sensor kemungkinan disebabkan oleh faktor eksternal, seperti permukaan cairan yang tidak sepenuhnya tenang, keberadaan gelembung udara, toleransi teknis sensor, atau gangguan ringan dari lingkungan sekitar seperti cahaya dan suhu. Namun, fluktuasi ini masih dalam batas yang sangat wajar dan tidak mengganggu fungsi utama sistem.

Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa sensor *non-contact liquid* dapat digunakan dengan percaya diri dalam sistem otomatisasi, terutama dalam mendeteksi batas cairan pada tabung untuk keperluan penghentian otomatis pompa. Dengan akurasi tinggi dan performa yang stabil, sensor ini sangat cocok diterapkan pada perangkat medis, termasuk dalam sistem suction cairan otomatis seperti yang dikembangkan dalam penelitian ini.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem prototipe otomatisasi suction cairan berbasis sensor *non-contact liquid* menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi tinggi cairan dan menghentikan pompa secara otomatis saat volume mencapai batas yang ditentukan. Sensor *non-contact liquid* mampu mendeteksi ketinggian cairan dengan nilai MAE sebesar 0,09 cm dan MAPE sebesar 0,857%, sehingga menghasilkan tingkat akurasi sebesar 99,14%. Selain itu,

sistem juga menunjukkan performa yang stabil ketika digunakan untuk mengalirkan cairan dengan berbagai viskositas. *Flowrate* pada cairan viskositas rendah (66 cP) tercatat hampir dua kali lipat lebih tinggi dibanding cairan kental (1320 cP), namun sistem tetap dapat bekerja secara konsisten tanpa gangguan. Hasil ini membuktikan bahwa prototipe yang dirancang efektif dalam menangani cairan medis seperti mucus/lendir serta layak untuk diterapkan di lingkungan rumah sakit, khususnya untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan alat suction cairan.

B. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar sistem ini dilengkapi dengan fitur kalibrasi otomatis dan indikator volume cairan secara digital untuk meningkatkan kemudahan pemantauan oleh tenaga medis. Selain itu, penggunaan sensor tambahan seperti sensor tekanan atau sensor suhu dapat membantu sistem bekerja lebih adaptif terhadap jenis cairan dengan karakteristik fisik berbeda. Pengujian lebih luas juga perlu dilakukan di lingkungan klinis secara langsung guna melihat performa alat dalam kondisi operasional sebenarnya. Diharapkan sistem ini dapat dikembangkan sebagai bagian dari inovasi teknologi alat kesehatan yang mendukung pelayanan medis yang lebih cepat, aman, dan efisien.