

## **Pengembangan Alat Monitoring Infus Berbasis Arduino: Fondasi Awal untuk Integrasi Industri Material Plastik Biomedis Masa Depan**

**Yustinus Engelbertus<sup>1)</sup>, Irawadi Buyung<sup>2)</sup>, Latifah Listyalina<sup>3)</sup>**

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Respati Yogyakarta, Indonesia  
Jalan Laksda Adisucipto KM.6,3, Ambarukmo, Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman,  
Yogyakarta 55281<sup>1,2)</sup>*

*Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia  
Tarudan, Bangunharjo, Sewon, Bantul Regency, Special Region of Yogyakarta 55188<sup>3)</sup>  
E-Mail : latifah.listyalina@atk.ac.id<sup>3)</sup> \**

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan perangkat *monitoring* volume infus berbasis mikrokontroler Arduino dengan kemampuan mendeteksi aliran cairan secara *real-time*. Perangkat ini ditujukan untuk meningkatkan efisiensi pemantauan infus oleh tenaga medis serta meminimalkan risiko keterlambatan pergantian cairan yang berpotensi memengaruhi kondisi pasien. Sistem yang dirancang menggunakan sensor *load cell* untuk mendeteksi aliran cairan infus dan menampilkan data volume cairan pada layar LCD, serta dilengkapi dengan mekanisme peringatan ketika aliran terhenti atau volume cairan berada pada ambang batas minimum. Sensor tersebut mendeteksi *flow rate* secara tidak langsung melalui perubahan berat yang diukur oleh *load cell*. Sebagai bentuk arah pengembangan lanjutan, penelitian ini merekomendasikan pengembangan melalui integrasi material plastik biomedis, seperti plastik transparan biokompatibel, plastik tahan suhu tinggi, maupun plastik *biodegradable*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan respons yang baik, dengan tingkat kesalahan relatif kecil sebesar 3,07%, yang masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring nonkritik. Dengan demikian, prototipe ini berpotensi menjadi dasar pengembangan perangkat monitoring infus cerdas yang tidak hanya efisien, tetapi juga adaptif terhadap penerapan teknologi material plastik medis modern.

Kata kunci: volume, infus, aliran, Arduino

### **ABSTRACT**

This study aims to design and develop an infusion volume-monitoring device based on an Arduino microcontroller that provides real-time fluid-flow detection. The device is intended to improve the efficiency of infusion monitoring by medical personnel and minimize the risk of delayed fluid replacement, which could potentially affect patient conditions. The proposed system utilizes a load cell sensor to detect the infusion fluid flow and display volume data on an LCD screen, and it is also equipped with a warning mechanism when the flow stops or when the fluid volume reaches the minimum threshold, where the flow rate is indirectly measured through variations in weight using a load cell-based sensing mechanism. However, as a future direction, this research recommends integrating biomedical plastics, such as transparent, biocompatible, heat-resistant, or biodegradable materials. Experimental results demonstrate that the system achieves high accuracy and responsiveness, with a relatively low error rate of 3.07%, which remains within acceptable tolerance limits for non-critical monitoring applications. Therefore, this prototype has the potential to serve as the foundation for developing smart infusion monitoring devices that are not only efficient but also adaptable to modern biomedical plastic technologies.

Keywords: volume, infusion, flow, Arduino

\*Corresponding author

## 1. Pendahuluan

Infus merupakan salah satu terapi medis yang paling sering digunakan dalam pelayanan kesehatan, baik untuk hidrasi, pemberian obat-obatan, maupun nutrisi parenteral. Menurut data World Health Organization (WHO), terapi infus merupakan bagian penting dari praktik klinis yang digunakan secara luas di seluruh dunia, terutama dalam penanganan pasien rawat inap dan kasus gawat darurat (WHO, 2022). Namun, di banyak fasilitas kesehatan, pemantauan volume dan aliran infus masih dilakukan secara manual, yang rentan terhadap keterlambatan penggantian cairan dan berisiko menimbulkan emboli udara jika dibiarkan kosong terlalu lama (Patidar, R. K., Tiwari, R., & Sharma, 2016).

Kondisi tersebut menjadi perhatian serius, khususnya di lingkungan rumah sakit dengan beban kerja tinggi atau dalam perawatan pasien dengan pengawasan yang terbatas. Di sinilah peran teknologi menjadi sangat krusial. Sistem otomatis berbasis mikrokontroler seperti Arduino telah banyak digunakan dalam prototipe alat medis karena sifatnya yang ekonomis, fleksibel, dan mudah diprogram (Kaur, A., & Kaur, 2018). Melalui integrasi sensor aliran cairan dan tampilan volume *real-time*, sistem ini memungkinkan pemantauan infus secara otomatis, meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis, serta mengurangi risiko kesalahan manusia (*human error*).

Namun ada kalanya aliran cairan infus (Effendy et al., 2024) dapat terganggu oleh pasien itu sendiri yakni penjepit pada selang infus tidak tertutup ketika sedang melakukan aktivitas yang melibatkan pergerakan yang cukup banyak di daerah terpasangnya infus. Hal ini dapat menyebabkan selang infus tergulung atau terlipat dan membuat aliran cairan infus terlalu lambat, sehingga dapat menimbulkan *clot* atau sumbatan.

Untuk mengurangi masalah-masalah tersebut penulis merancang Alat *Monitoring Volume Infus dengan Pendeteksian Aliran Cairan Berbasis Arduino*. Sensor *load cell* pada umumnya digunakan sebagai komponen utama pada sistem timbangan digital yang

mana pada alat ini sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat cairan infus (Ilham et al., 2025; Lestariningsih et al., 2021; Tampubolon et al., 2021). (Ratnaningsih et al., 2024) Penggunaan *load cell* sebagai metode pengukuran volume dipilih karena *load cell* mampu mengukur massa secara langsung dengan akurasi dan stabilitas yang tinggi, yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi volume berdasarkan densitas material. Metode berbasis massa ini banyak digunakan dalam aplikasi industri karena tidak dipengaruhi oleh bentuk wadah maupun fluktuasi aliran, serta relatif mudah diintegrasikan dengan sistem mikrokontroler (Omega Engineering., 2018). Meskipun terdapat sensor lain yang dapat mengukur volume atau laju aliran secara langsung, seperti turbine flow sensor, ultrasonic flow sensor, dan level sensor, sensor-sensor tersebut memiliki keterbatasan, antara lain sensitivitas terhadap turbulensi aliran, gelembung udara, viskositas fluida, ketergantungan pada geometri wadah, serta biaya implementasi yang lebih tinggi (Pallás-Areny, R., & Webster, 2012). Oleh karena itu, *load cell* dinilai lebih sesuai untuk sistem prototipe dan simulasi, serta aplikatif pada proses pengolahan plastik yang melibatkan material cair maupun granular dengan karakteristik aliran yang bervariasi (Johnson, 2011).

Sebagai dasar perancangan sistem, penelitian ini diawali dengan studi pendahuluan kualitatif berupa observasi terbatas di lingkungan klinis serta kajian literatur, untuk mengidentifikasi kebutuhan nyata dalam pemantauan infus. Observasi dan masukan umum dari tenaga medis menunjukkan bahwa pemantauan infus masih banyak dilakukan secara manual melalui inspeksi visual, yang berpotensi kurang optimal pada kondisi beban kerja tinggi atau situasi darurat. Kebutuhan utama yang teridentifikasi meliputi sistem yang sederhana, mudah digunakan, responsif, memiliki peringatan lokal, serta tidak bergantung pada koneksi internet. Temuan ini menjadi dasar dalam penentuan spesifikasi

sistem, yaitu pemilihan sensor *load cell* untuk pemantauan volume berbasis perubahan berat, penggunaan LCD sebagai media informasi lokal, serta penerapan alarm saat aliran terhenti atau volume mencapai ambang minimum.

Dalam rancangan ini, *Arduino* merupakan mikrokontroler utama. Input alat berasal dari pendeteksian sensor *load cell* terhadap berat cairan infus. Sensor *load cell* akan diletakkan pada tiang infus yang sudah dimodifikasi, yang berfungsi untuk mengukur berat infus sehingga perawat dapat mengetahui apakah cairan infus tidak mengalir atau akan habis. Adapun keluaran dari sistem ini berupa pemberitahuan status cairan infus yang akan muncul pada LCD dan dua *buzzer* yang berbunyi dengan nada yang berbeda, yang pertama untuk mengetahui apakah cairan infus mampet dan yang kedua untuk mengetahui apakah cairan infus akan habis. Sistem pada penelitian ini tidak menggunakan teknologi IoT karena dirancang dengan fokus pada kesederhanaan, keandalan, dan pemantauan lokal secara *real-time*. Penggunaan tampilan LCD dinilai sudah mencukupi untuk menampilkan volume cairan infus tanpa bergantung pada koneksi jaringan. Implementasi IoT memerlukan perangkat tambahan, infrastruktur jaringan, serta mekanisme keamanan data, yang dapat meningkatkan kompleksitas, konsumsi daya, dan biaya sistem (Pallás-Areny, R., & Webster, 2012) (Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, n.d.). Selain itu, sistem non-IoT lebih stabil dan andal karena tidak terpengaruh oleh gangguan konektivitas, sehingga cocok untuk prototipe dan aplikasi dasar. Meskipun demikian, integrasi IoT memiliki potensi untuk pengembangan selanjutnya, khususnya untuk pemantauan jarak jauh dan notifikasi otomatis (Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, 2013).

Sebagai bentuk arah pengembangan lanjutan, penelitian ini merekomendasikan pengembangan lanjutan melalui integrasi material plastik biomedis, seperti plastik transparan biokompatibel, plastik tahan suhu tinggi, maupun plastik biodegradable (Pan, Y.,

& Zhong, 2019) (Fu, Y., Li, P., & Wang, 2020). Potensi penggunaan plastik medis canggih ini dapat mendukung pengembangan alat kesehatan yang lebih ergonomis, steril, dan ramah lingkungan di masa mendatang.

Pendekatan rekayasa sistem berbasis eksperimental, dengan tujuan merancang perangkat pemantauan infus otomatis yang terhubung ke internet (IoT) (Hamzah, 2025). Sistem ini memanfaatkan sensor *load cell* untuk mendeteksi perubahan berat pada botol infus, serta mikrokontroler ESP8266 sebagai pusat kendali sekaligus pengirim data ke platform daring. Pengujian sistem dilakukan dengan infus yang diisi dengan volume berbeda, dan sistem diuji untuk melihat konsistensi pembacaan serta ketepatan waktu pengiriman data. Pengujian dilakukan di lingkungan laboratorium untuk memastikan sistem berjalan stabil dan mampu memberikan informasi secara berkelanjutan tanpa intervensi manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berfungsi secara efektif dalam memantau volume infus melalui deteksi berat. Data yang ditangkap oleh *load cell* berhasil ditampilkan secara *real-time* pada platform ThingSpeak, sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui perangkat seluler atau komputer. Akurasi pembacaan berat infus cukup baik, dengan tren grafik pada ThingSpeak yang mengikuti perubahan berat secara logis seiring berkurangnya cairan. Sistem mampu mengirim data setiap 15 detik, sesuai interval yang diprogram, sehingga menunjukkan kestabilan koneksi dan sinkronisasi antara ESP8266 dan platform ThingSpeak. Respons sensor cepat dan andal, bahkan ketika berat berubah secara tiba-tiba akibat perpindahan cairan. Meskipun sistem ini belum dilengkapi dengan alarm otomatis atau sistem notifikasi ke perangkat *Android*, fungsi utamanya sebagai alat pemantauan jarak jauh telah terpenuhi. Hal ini memberikan kontribusi nyata bagi efisiensi tenaga medis, terutama di rumah sakit dengan jumlah pasien tinggi atau dalam kondisi darurat yang memerlukan pemantauan cepat dan akurat.

Penelitian lain memanfaatkan *Arduino Nano* sebagai unit pemrosesan utama, dengan dukungan sensor untuk mendeteksi kondisi volume cairan infus dan aliran tetesan, serta menggunakan aplikasi Blynk berbasis Android untuk memantau kondisi infus secara *real-time* dari jarak jauh (Putung et al., 2023). Setelah perakitan dan pemrograman sistem selesai, dilakukan serangkaian uji coba untuk mengevaluasi kinerja alat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil, yaitu mendeteksi perubahan berat cairan infus dengan akurasi yang cukup baik, mendeteksi aliran tetesan cairan dengan cepat menggunakan sensor inframerah, serta mengirimkan data secara *real-time* ke aplikasi Blynk yang menampilkan informasi volume infus dan status aliran pada ponsel Android. Sistem juga telah diatur untuk memberikan peringatan saat infus hampir habis atau aliran berhenti. Alarm buzzer aktif saat cairan mencapai ambang batas minimal atau tetesan tidak terdeteksi. Indikator LED menyala sebagai isyarat visual tambahan. Dari segi fungsionalitas, sistem ini dinilai berhasil memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghadirkan alat monitoring infus yang praktis, murah, dan mudah dipantau dari jarak jauh. Pengujian menunjukkan sistem mampu mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, yang umumnya menyita waktu tenaga medis.

Penelitian selanjutnya menggunakan pendekatan eksperimental dengan fokus pada pengembangan sistem *monitoring* infus otomatis berbasis Internet of Things (IoT) (Pardosi & Sembiring, 2025). Tujuan dari sistem ini adalah mempermudah tenaga medis dalam memantau volume cairan infus secara *real-time* melalui koneksi internet, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pasien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring bekerja sesuai dengan ekspektasi. Setiap perubahan berat pada botol infus dapat terdeteksi oleh sensor *load cell* dan ditampilkan secara *real-time* pada dashboard ThingSpeak. Grafik ThingSpeak berhasil menampilkan tren penurunan berat cairan

infus secara bertahap, sesuai dengan berkurangnya volume cairan yang digunakan oleh pasien. Data terkirim dengan interval stabil (15 detik) dan memperlihatkan sistem memiliki koneksi internet dan proses pemrograman yang berjalan dengan baik. Akurasi pembacaan berat cukup tinggi untuk konteks aplikasi klinis nonkritis, meskipun belum dibandingkan dengan timbangan laboratorium sebagai alat pembanding. Tabel 1 menunjukkan penelitian-penelitian yang terkait dengan *monitoring* infus.

Tabel 1. Simpulan Penelitian Terkait

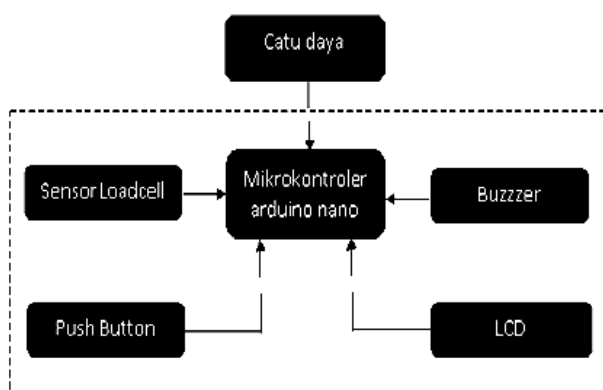
| No | Peneliti & Tahun           | Kontribusi terhadap Penelitian Ini   |
|----|----------------------------|--|
| 1  | Hamzah (2025)              | Menjadi rujukan sistem monitoring infus berbasis IoT dan validasi keandalan load cell untuk pemantauan volume  |
| 2  | Putung et al. (2023)       | Menjadi referensi integrasi alarm dan multi-sensor pada monitoring infus   |
| 3  | Pardosi & Sembiring (2025) | Menguatkan validitas metode load cell untuk monitoring infus berbasis berat  |
| 4  | Penelitian ini             | Kontribusi utama: sistem non-IoT yang sederhana, akurat (error 3,07%), responsif, serta rekomendasi integrasi material plastik biomedis sebagai arah pengembangan lanjutan |

Sistem ini menawarkan manfaat praktis dalam mempermudah tenaga kesehatan memantau infus pasien dari jarak jauh tanpa harus memeriksa infus secara manual. Hal ini sangat relevan di rumah sakit (Sunardi, Buyung Irawadi, 2024) dengan rasio tenaga medis dan pasien yang tidak seimbang, atau dalam situasi darurat yang memerlukan efisiensi waktu. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyajikan rancangan awal alat monitoring infus berbasis *Arduino* (Irawadi et al., 2024) (Kusriyanto et al., 2021;

Sumarjono, 2018), tetapi juga membuka diskusi menuju integrasi teknologi plastik medis sebagai inovasi berkelanjutan. Inisiatif ini diharapkan dapat mendukung transformasi layanan kesehatan agar lebih adaptif terhadap teknologi dan material baru yang aman, efisien, serta ramah lingkungan.

## 2. Metodologi

Perangkat ini memanfaatkan sensor berat (*load cell*) untuk mengukur volume cairan infus secara tidak langsung melalui perubahan massa. Data hasil pengukuran serta status cairan ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD) berukuran 2x16 karakter yang mampu menampilkan informasi dalam dua baris, masing-masing 16 karakter. Dokumen perancangan juga memaparkan secara rinci spesifikasi teknis perangkat, diagram blok sistem, perancangan perangkat keras, serta perancangan perangkat lunak yang direpresentasikan dalam bentuk *flowchart* dan baris kode program yang digunakan untuk mengoperasikan perangkat. Secara konseptual, hubungan antarbagian dalam sistem digambarkan melalui diagram blok yang berfungsi untuk memperjelas alur kerja dan integrasi tiap komponen, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram alat

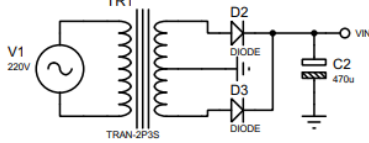
Perancangan perangkat *monitoring* volum infus diawali dengan identifikasi komponen yang diperlukan agar kebutuhan sistem dapat terpenuhi dan realisasi rancangan dapat dilakukan secara optimal. Perangkat utama yang digunakan meliputi

mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali sistem, sensor *load cell* beserta modul penguat HX711 sebagai pendeteksi berat cairan infus, *buzzer* sebagai media notifikasi, serta catu daya bertegangan 12 V dan 6 V dengan arus maksimum 1 A sebagai sumber energi. Selain itu, digunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) untuk menampilkan informasi hasil deteksi, perangkat lunak Arduino IDE sebagai sarana pemrograman dan pengunggahan kode ke modul Arduino, serta seperangkat cairan dan selang infus sebagai objek uji.

Setiap komponen dalam sistem memiliki fungsi yang terintegrasi dalam blok diagram perancangan. Sumber daya berupa trafo 6 V dan 12 V berperan sebagai penyedia tegangan operasi untuk seluruh rangkaian. Sensor *load cell* bersama modul penguat HX711 bertugas mendeteksi berat cairan infus dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian dibaca oleh Arduino melalui komunikasi digital I2C. Mikrokontroler Arduino memproses data hasil pengukuran untuk menentukan status cairan infus dan mengirimkan logika pemicu ke komponen lain. *Buzzer* digunakan sebagai indikator suara yang berfungsi memberikan tanda proses awal maupun peringatan saat cairan infus hampir habis, atau ketika tidak terdeteksi penurunan cairan dalam kurun waktu tertentu akibat kemungkinan kebocoran atau sumbatan pada selang. Sementara itu, LCD berperan menampilkan informasi berupa nilai berat cairan terdeteksi serta status cairan secara *real-time*. Sistem dilengkapi dengan dua buah push button, di mana tombol pertama digunakan untuk proses kalibrasi awal sensor *load cell* (*tare*) saat pemasangan kantong infus, sedangkan tombol kedua digunakan untuk mengatur batas minimum volume cairan infus sekaligus mengonfirmasi notifikasi alarm.

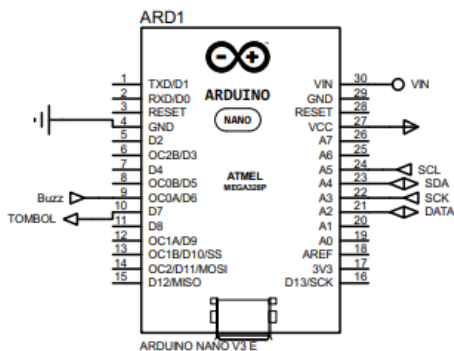
Salah satu rangkaian yang berfungsi memberikan suplai tegangan DC ke rangkaian lainnya ialah rangkaian *power supply*. Karena rangkaian menggunakan daya dalam bentuk DC, sedangkan daya yang tersedia dalam bentuk AC, maka perlu dilakukan penyearahan dan filter untuk mengubah

tegangan AC menjadi DC seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



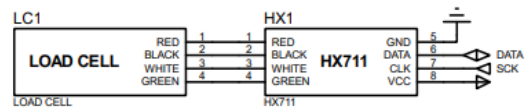
Gambar 2. Rangkaian catu daya.

Alat yang dirancang digunakan untuk mengetahui volume cairan infus dengan menggunakan sensor *load cell* sebagai pembaca berat cairan dan *buzzer* untuk menandakan status cairan. Arduino menerima data pendeteksi berat melalui komunikasi I2C. Namun, hubungan kaki I2C pada modul HX711 dapat dilewatkan pada kaki non-I2C. Dalam hal ini, hubungan dengan HX711 dilewatkan melalui kaki A2 dan A3 untuk *load cell* dan picu untuk membunyikan *buzzer* yang diumpan dari kaki D6 dan D7. Modul Arduino menerima tegangan  $\pm 6$  VDC pada kaki  $V_{in}$  dari rangkaian penyearah. Tegangan ini dilewatkan melalui regulator tegangan 5 V dalam modul Arduino. Tegangan 5V inilah yang digunakan untuk seluruh rangkaian. Gambar 3 menunjukkan rangkaian *Arduino Nano* yang digunakan.



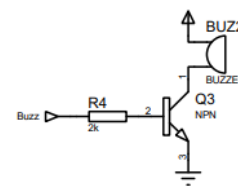
Gambar 3. Rangkaian *Arduino Nano*

Untuk melakukan pengukuran volume infus digunakan sensor *load cell* di mana mempunyai keluaran tegangan yang kecil sehingga perlu dikuatkan. Proses ini dilakukan oleh modul HX711. HX711 juga mendeteksi perbedaan tegangan pada kaki-kaki *load cell*. Keluaran dari modul HX711 berupa data 24-bit dalam format serial I2C. Rangkaian *load cell* dan modul HX711 ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian *Load cell*

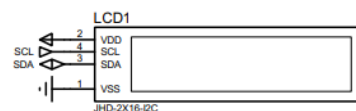
Untuk memperbesar arus dari Arduino, digunakan rangkaian *buzzer* yang bertujuan untuk membunyikan *buzzer*. Rangkaian menggunakan transistor sebagai saklar yang mentransformasikan arus Arduino yang kecil menjadi arus yang cukup besar untuk menggerakkan *buzzer*. Rangkaian *buzzer* dipaparkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *buzzer*

Ketika pin Arduino diberi logika 0, maka basis transistor tidak mendapat arus basis, sehingga transistor berada dalam kondisi *off* (*cut off*). Hal ini menyebabkan *buzzer* tidak berbunyi. Ketika pin Arduino diberi logika 1, basis transistor mendapat arus, sehingga transistor dalam keadaan on (saturasi). Hal ini menyebabkan *buzzer* berbunyi.

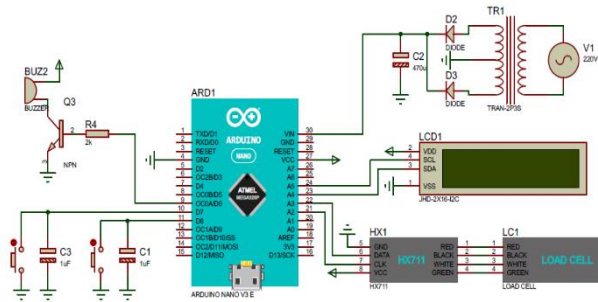
Perancangan ini membutuhkan LCD dengan spesifikasi 2x16, yaitu LCD dengan 2 baris dan 16 kolom karakter. Antarmuka LCD dengan Arduino menggunakan jalur I2C, sehingga pada LCD perlu ditambahkan modul I2C. Rangkaian LCD ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian LCD

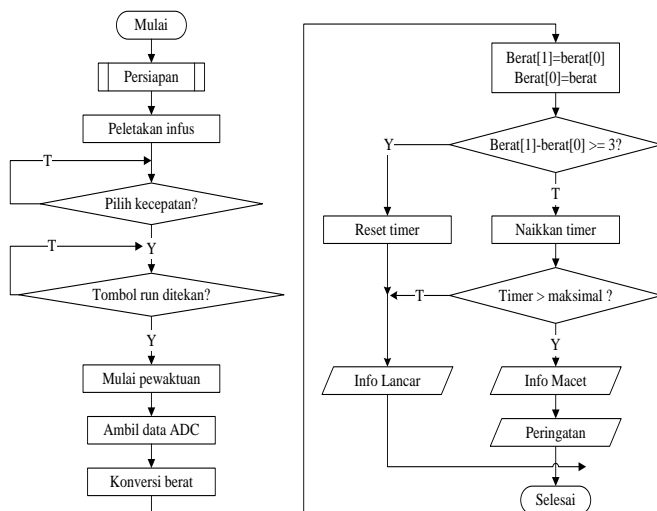
Dari beberapa rangkaian di atas, dibuat rangkaian keseluruhan untuk memberikan gambaran keseluruhan hubungan rangkaian yang digunakan. Rangkaian dipisahkan menjadi bagian-bagian untuk mempermudah mengetahui batas masing-masing bagian.

Antarbagian dihubungkan dengan label yang unik. Skematik rangkaian ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian keseluruhan

Bahasa pemrograman Arduino pada dasarnya menggunakan bahasa pemrograman C. Bahasa C sendiri merupakan bahasa tingkat tinggi yang sangat populer dan banyak digunakan oleh para programmer. Program diedit, dikompilasi dan diunggah menggunakan compiler bawaan Arduino IDE. Alur proses program (*flowchart*) dibuat berdasarkan logika proses yang mengerti manusia, kemudian diturunkan menjadi bahasa program yang dipahami oleh pemroses Arduino. Alur proses pada Arduino ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Alur proses (*Flowchart*)

Perancangan perangkat lunak sistem *monitoring* infus disusun berdasarkan urutan proses yang direpresentasikan dalam diagram alir. Proses dimulai dengan tahap inisialisasi, yaitu pengaturan fasilitas yang akan digunakan mikrokontroler untuk menjalankan program.

Selanjutnya, mikrokontroler melakukan pembacaan data *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dari pin input yang terhubung ke modul sensor. Data hasil pembacaan ADC kemudian dikonversi menjadi nilai berat cairan infus.

Nilai berat yang diperoleh disimpan dalam variabel *array* dengan mekanisme pergeseran, di mana nilai berat sebelumnya dipindahkan ke indeks [1], nilai berat saat ini ditempatkan pada indeks [0], sedangkan nilai terbaru diisi dengan hasil pengukuran terkini. Program kemudian menghitung selisih antara nilai berat [1] dan berat [0]. Apabila selisih yang diperoleh lebih besar dari 3 gram, proses *timer* akan diulang dari awal. Sebaliknya, jika selisihnya kurang dari atau sama dengan 3 gram, program akan meningkatkan nilai *timer*.

Deteksi kondisi cairan infus macet dan habis dilakukan dengan memantau perubahan berat cairan infus terhadap waktu. Apabila tidak terjadi perubahan berat dalam interval waktu tertentu, sistem akan meningkatkan nilai *timer*. Jika *timer* mencapai batas maksimum, sistem menyimpulkan bahwa aliran infus mengalami kemacetan. Sementara itu, apabila kondisi tersebut terjadi saat berat cairan telah mencapai ambang minimum, sistem menyimpulkan bahwa cairan infus telah habis dan memberikan peringatan kepada pengguna.”

Tahap berikutnya adalah pemeriksaan nilai *timer*. Apabila nilai *timer* belum mencapai batas maksimum, status sistem tetap dinyatakan normal atau lancar. Namun, apabila *timer* telah mencapai nilai maksimum, sistem mengklasifikasikan status infus sebagai macet. Pada kondisi ini, perangkat lunak memberikan peringatan melalui mekanisme alarm yang telah diprogram, sehingga pengguna atau tenaga medis dapat segera mengambil tindakan.

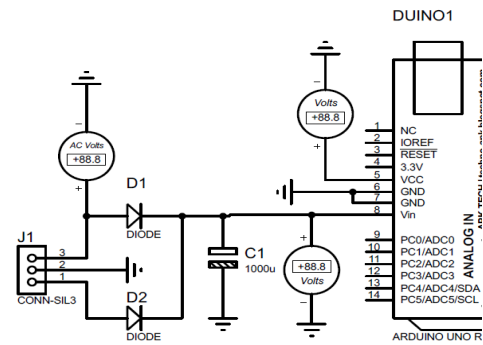
### 3. Hasil dan Pembahasan

Perangkat yang dirancang terdiri atas beberapa komponen yang saling terintegrasi sehingga membentuk satu sistem kerja yang

utuh. Adapun spesifikasi alat ini adalah sebagai berikut.

1. Sumber catu daya yang digunakan adalah 12 V dan 6 V dengan kemampuan arus 1 A.
2. Alat monitoring volume infus dirancang dalam bentuk sistem kompak yang terdiri dari unit kendali berbasis Arduino berukuran sekitar 14 cm × 10 cm × 6 cm, modul sensor load cell berukuran sekitar 10 cm × 1,2 cm × 1,2 cm yang dilengkapi dudukan infus berukuran sekitar 12 cm × 8 cm × 4 cm sebagai pendeteksi berat cairan infus, serta penampil LCD 16×2 dan buzzer sebagai media informasi proses dan notifikasi kepada pengguna.
3. Berdasarkan karakteristik sensor *load cell* dan modul HX711 yang digunakan, sistem mampu mendeteksi laju aliran cairan infus pada rentang sekitar 5–1000 mL/jam, dengan rentang kerja optimal pada kisaran 10–600 mL/jam.
4. Konsumsi daya sistem yang relatif rendah, yaitu sekitar 0,6–0,8 W, diperoleh dari penggunaan mikrokontroler Arduino, sensor *load cell* dengan modul HX711, LCD, dan *buzzer* yang masing-masing memiliki kebutuhan arus yang kecil. Sementara itu, waktu respons sistem berkisar antara 0,5–1,5 detik dan dipengaruhi oleh kecepatan sampling HX711 hingga 80 SPS serta proses pengolahan data, pembaruan tampilan, dan notifikasi pada Arduino.

Setiap komponen perlu melalui tahap pengujian untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Salah satu tahap pengujian yang dilakukan adalah pengujian tegangan yang bertujuan untuk memastikan bahwa tegangan kerja pada perangkat tidak melebihi batas ketentuan yang telah ditentukan. Proses pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada titik-titik tertentu dalam rangkaian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengujian tegangan alat

Hasil pengujian tegangan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian tegangan kerja alat

| No. | Titik pengujian  | Tegangan pada pengujian |      |      | Rata-rata |
|-----|------------------|-------------------------|------|------|-----------|
|     |                  | 1                       | 2    | 3    |           |
| 1.  | Sebelum dioda    | 5,95                    | 5,95 | 5,96 | 6,46      |
|     | (keluaran trafo) | VAC                     | VAC  | VAC  | VAC       |
|     |                  | 5,95                    | 5,97 | 5,97 | 6,37      |
| 2.  | Setelah dioda    | 7,62                    | 7,71 | 7,72 | 7,23      |
|     |                  | VDC                     | VDC  | VDC  | VDC       |

Pada titik pengukuran sebelum dioda, tegangan yang terdeteksi masih berupa arus bolak-balik (AC) yang merupakan keluaran dari transformator. Perangkat menggunakan transformator *center-tap* (CT) dengan dua keluaran tegangan. Hasil pengukuran terhadap *ground* menunjukkan dua nilai tegangan yang relatif sama dan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai nominal yang tercantum pada badan trafo, yaitu 6 volt.

Setelah melewati dioda penyearah, tegangan berubah menjadi arus searah (DC). Nilai tegangan pada titik ini meningkat, yaitu sebesar 7,23 volt, dibandingkan dengan tegangan sebelumnya sebesar 6,46 volt. Peningkatan ini disebabkan oleh penggabungan dua keluaran tegangan hasil proses penyearahan. Keberadaan kapasitor dalam rangkaian berfungsi untuk menjaga kestabilan tegangan agar tidak mengalami penurunan yang signifikan.

Tahap pengujian berikutnya dilakukan pada titik setelah tegangan melalui rangkaian regulator. Pengukuran dilakukan pada beberapa bagian rangkaian utama, yaitu

rangkaian Arduino, sensor, dan LCD. Hasil pengujian tegangan secara rinci ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan kerja alat

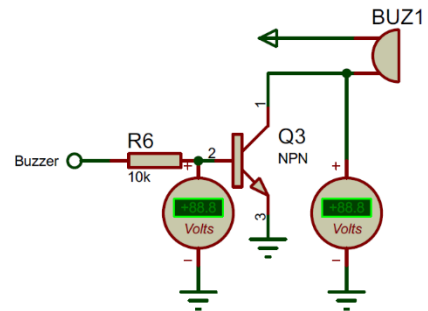
| No. | Titik pengujian rangkaian | Tegangan (Volt DC) pada pengujian |      |      |
|-----|---------------------------|-----------------------------------|------|------|
|     |                           | 1                                 | 2    | 3    |
| 1.  | Arduino                   | 5,21                              | 5,22 | 5,22 |
| 2.  | Sensor                    | 5,0                               | 5,0  | 5,0  |
| 3.  | LCD                       | 4,98                              | 4,98 | 5,99 |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian regulator tegangan pada modul Arduino berfungsi dengan baik, ditandai dengan keluaran tegangan sebesar 5,06 volt. Tegangan ini kemudian didistribusikan ke seluruh bagian rangkaian sebagai sumber daya utama. Pada saat rangkaian sensor dihubungkan ke tegangan keluaran sebesar 5 volt, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tidak terjadi penurunan tegangan yang signifikan. Kondisi serupa juga ditemukan ketika modul LCD disambungkan pada tegangan yang sama. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa regulator tegangan pada modul Arduino mampu menyediakan daya yang stabil dan mencukupi untuk mendukung kebutuhan seluruh rangkaian.

Rangkaian *buzzer* berfungsi sebagai pemberi peringatan dalam bentuk suara dengung. Pengujian *buzzer* ini dilakukan dengan mengukur tegangan yang menunjukkan aktivitas *buzzer* saat berbunyi dan saat tidak berbunyi. Titik pengujian rangkaian *buzzer* ditunjukkan Gambar 10.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian aktivasi bekerja sesuai dengan prinsip logika masukan. Ketika diberikan masukan logika 0, arus tidak mengalir ke basis sehingga transistor berada dalam kondisi *off*. Pada keadaan ini, tegangan kolektor bernilai tinggi yang menandakan tidak adanya aliran arus dari kolektor ke emitor. Sebaliknya, ketika diberikan masukan logika 1, arus mengalir ke basis sehingga transistor berada dalam kondisi *on*, yang menyebabkan arus dapat mengalir dari kolektor ke emitor. Kondisi ini ditandai dengan tegangan kolektor

yang rendah. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa rangkaian *buzzer* berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan.

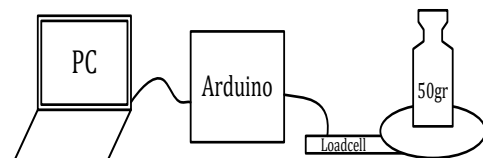


Gambar 10. Cara pengujian *buzzer*.

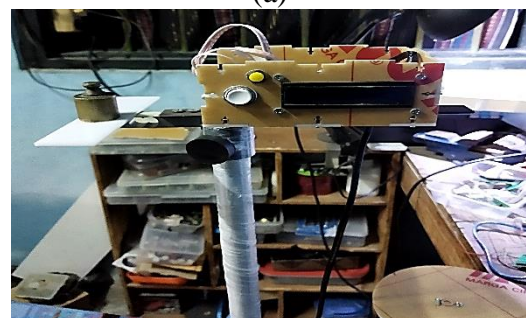
Hasil pengujian *buzzer* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *buzzer*

| Masukan logika | Tegangan (Volt) |        |          | Kondisi        |
|----------------|-----------------|--------|----------|----------------|
|                | Masukan         | Basis  | Kolektor |                |
| 0              | 0,9 mV          | 0,1 mV | 4,66 V   | Tidak berbunyi |
| 1              | 4,9 V           | 0,75 V | 42,9 mV  | Berbunyi       |



(a)



(b)

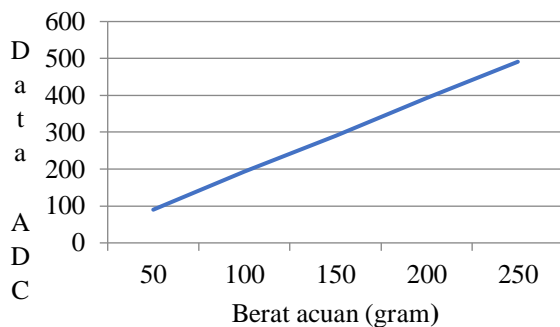
Gambar 11. Cara pengujian sensor (a) skematik dan (b) realisasi

Selanjutnya dilakukan pengujian sensor untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mendeteksi berat benda dengan massa tertentu. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa anak timbangan dengan skala massa dalam satuan gram. Nilai hasil pendeteksian sensor diamati melalui

Serial Monitor pada perangkat lunak Arduino IDE. Metode pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil pendeteksian berupa nilai analog ADC yang ditunjukkan pada Tabel 4. Bentuk grafik data pendeteksian sensor ditunjukkan pada Gambar 12.

Tabel 4. Data ADC terhadap berat

| No | Berat acuan (gram) | Data ADC | Kenaikan data setiap 50 gram |
|----|--------------------|----------|------------------------------|
| 1  | 50                 | 90       | 90                           |
| 2  | 100                | 193      | 103                          |
| 3  | 150                | 290      | 97                           |
| 4  | 200                | 393      | 103                          |
| 5  | 250                | 491      | 98                           |



Gambar 12. Grafik hasil pengujian berat

Hasil pengujian menunjukkan nilai pendeteksian sensor (data ADC) yang linier terhadap berat beban buah timbangan. Kenaikan data rata-rata setiap 50 gram adalah 84,3. Nilai analog nantinya dikonversi menjadi nilai berat melalui kode program. Kode program yang diperlukan ditunjukkan oleh Persamaan (1):

$$\text{berat} = (\text{reading} * 50) / 84,3 \dots \dots \dots (1)$$

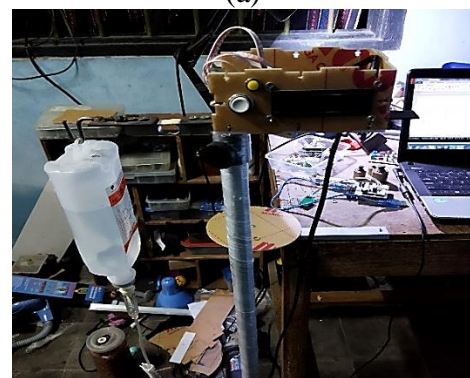
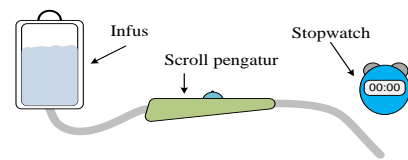
Setelah program konversi, penunjukan LCD menunjukkan nilai berat. Pengujian selanjutnya adalah menguji alat dalam mendeteksi nilai berat. Hasil pengujian berat terhadap berat acuan ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat mampu mendeteksi berat dengan baik, yang ditunjukkan oleh rata-rata selisih pengukuran kurang dari 2,8 gram dan persentase kesalahan sebesar 3,07%. Nilai berat terukur tersebut selanjutnya digunakan

sebagai acuan untuk mendeteksi kondisi aliran infus.

Tabel 5. Pengujian berat terhadap berat acuan

| No               | Berat (gram) |         | Selisih (gram) | Kesalahan (%) |
|------------------|--------------|---------|----------------|---------------|
|                  | Acuan        | Terukur |                |               |
| 1                | 50           | 45      | 5              | 10            |
| 2                | 100          | 98      | 2              | 2             |
| 3                | 150          | 149     | 1              | 0,67          |
| 4                | 200          | 203     | 3              | 1,5           |
| 5                | 250          | 253     | 3              | 1,2           |
| <b>Rata-rata</b> |              |         | 2,8            | 3,07          |

Pengujian aliran infus dilakukan untuk mengetahui waktu aliran pada lima tingkat kecepatan yang telah ditetapkan. Informasi mengenai waktu aliran ini penting sebagai parameter pembandingan untuk menentukan apakah aliran infus dalam kondisi lancar atau mengalami hambatan. Variasi kecepatan aliran diatur dengan mengubah posisi scroll pengatur aliran, yang tersedia dalam lima tingkatan, mulai dari posisi paling lambat hingga paling cepat. Metode pengujian aliran ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian volume berat (a) skematik dan (b) realisasi

Tabel 6 menunjukkan pengujian waktu aliran. Pengujian menghasilkan nilai waktu yang diperlukan untuk setiap penurunan berat 1 g. Dari nilai ini dapat ditentukan perubahan

berat per detik. Pengukuran pada kecepatan rendah, yaitu pada kecepatan 1 dan 2, lebih mudah dilakukan. Sementara pada kecepatan tinggi lebih sulit untuk mendapatkan nilai yang sebenarnya, karena harus berkejaran dengan kecepatan aliran air dan tekanan pada *stopwatch*.

Tabel 6. Hasil pengujian waktu aliran

| Kecepatan aliran | Berat (gram) |       | Waktu (detik) | Berat /detik (gr/detik) |
|------------------|--------------|-------|---------------|-------------------------|
|                  | Awal         | Akhir |               |                         |
| 1                | 227          | 226   | 166           | 0,006                   |
| 2                | 224          | 223   | 22,7          | 0,04                    |
| 3                | 202          | 201   | 2,3           | 0,4                     |
| 4                | 173          | 172   | 1,2           | 0,8                     |
| 5                | 90           | 89    | 0,5           | 2                       |

Selanjutnya, alat ini menjadikan hasil pengujian perubahan berat terhadap waktu sebagai acuan untuk menentukan status aliran. Program menetapkan waktu yang sedikit lebih lama agar cukup bagi program untuk mendeteksi perubahan berat. Tetapan waktu deteksi ditunjukkan pada Tabel 7. Tabel 8 menunjukkan kejadian dalam penentuan tetapan waktu deteksi.

Tabel 7. Tetapan waktu deteksi

| Kecepatan | Waktu (detik) |
|-----------|---------------|
| 1         | 180           |
| 2         | 50            |
| 3         | 9             |
| 4         | 6             |
| 5         | 3             |

Pengujian deteksi aliran dilakukan untuk memastikan kemampuan perangkat dalam mengidentifikasi kondisi aliran infus yang mengalami hambatan atau kemacetan. Mekanisme pendeteksian ini diimplementasikan melalui program pada mikrokontroler yang memantau status aliran berdasarkan perubahan berat pada interval waktu tertentu. Apabila dalam rentang waktu yang telah ditetapkan tidak terdeteksi adanya perubahan berat, maka sistem menyatakan bahwa aliran infus dalam kondisi macet. Proses pengujian dilakukan dengan memilih salah satu mode kecepatan aliran, kemudian mengamati respons perangkat saat cairan dibiarkan mengalir secara normal dan saat aliran sengaja dihentikan. Respons sistem dievaluasi melalui informasi yang ditampilkan pada LCD serta keluaran bunyi dari *buzzer* sebagai indikator peringatan. Hasil

Tabel 8. Kejadian dalam penentuan tetapan waktu deteksi

| Kecepatan | Kejadian  |
|-----------|---|
| 1         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infus dibiarkan mengalir lebih dari 3 menit. Infus terus menetes dan terjadi penurunan berat.</li> <li>• Pengecekan kondisi aliran dilakukan saat terdengar bunyi <i>buzzer</i> dan informasi di LCD memberitahukan bahwa aliran dalam kondisi lancar.</li> <li>• Roll infus ditutup. Selama 3 menit alat tidak menginformasikan penurunan berat.</li> <li>• Pada proses pengecekan berikutnya, alat menginformasikan bahwa aliran dalam kondisi macet.</li> </ul> |
| 2         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seperti pada pengujian 1. Perbedaannya, pengecekan kondisi aliran dilakukan setiap 50 detik.</li> <li>• 50 detik pertama, alat menginformasikan aliran dalam kondisi lancar.</li> <li>• Saat aliran ditutup, dalam 50 detik berikutnya alat akan menginformasikan bahwa aliran dalam kondisi macet.</li> </ul>   |
| 3         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seperti pada pengujian 1. Perbedaannya, pengecekan kondisi aliran dilakukan setiap 9 detik.</li> <li>• 9 detik pertama, alat menginformasikan bahwa aliran dalam kondisi lancar.</li> <li>• Saat aliran ditutup, pada 9 detik berikutnya alat menginformasikan bahwa aliran dalam kondisi macet.</li> </ul>  |
| 4         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seperti pada pengujian 1. Perbedaannya, pengecekan kondisi aliran dilakukan setiap 6 detik.</li> <li>• 6 detik pertama, alat menginformasikan aliran dalam kondisi lancar.</li> <li>• Saat aliran ditutup, dalam 6 detik berikutnya alat akan menginformasikan bahwa aliran sedang macet.</li> </ul>   |
| 5         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seperti pada pengujian 1. Perbedaannya, pengecekan kondisi aliran dilakukan setiap 3 detik.</li> <li>• 3 detik pertama, alat menginformasikan aliran dalam kondisi lancar.</li> <li>• Saat aliran ditutup, dalam 3 detik berikutnya alat akan menginformasikan bahwa aliran sedang macet.</li> </ul>   |

pengujian secara rinci ditunjukkan pada Tabel 9.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada semua mode kecepatan, alat mampu mendeteksi kemacetan aliran. Waktu terdeteksi aliran kurang lebih sama dengan waktu yang ditetapkan sebagai pembanding. Hal ini karena waktu pada program tidak cukup akurat.

Pengujian keseluruhan dimaksudkan untuk mendapatkan kejelasan hasil proses kerja yang telah direalisasikan. Kejelasan ini diperoleh melalui perbandingan proses kerja alat pada tahap perancangan. Pengujian dilakukan secara visual dengan memberikan kondisi-kondisi yang akan direspons oleh alat.

Hasil pengujian menunjukkan pada semua mode kecepatan, alat dapat melakukan semua proses yang direncanakan. Waktu

terdeteksi aliran kurang lebih sama dengan waktu yang ditetapkan sebagai pembanding. Hal ini karena waktu pada program tidak cukup akurat.

Setelah melalui tahap perencanaan dan proses perancangan, sebuah perangkat untuk memonitor aliran infus berhasil direalisasikan. Keberhasilan perancangan ditunjukkan oleh kemampuan perangkat dalam mendeteksi berat cairan infus, melakukan proses pewaktu pendeteksian, serta menentukan status aliran berdasarkan data hasil pengukuran.

Secara struktural, tiang infus yang pada umumnya hanya berfungsi sebagai media untuk menggantung cairan infus dimodifikasi agar memiliki fungsi tambahan, yaitu sebagai penempatan perangkat *monitoring* dan sensor *load cell*. Dengan demikian, tiang infus tidak

Tabel 9. Hasil Pengujian Keseluruhan

| Tampilan program               | Respon Alat  | Keterangan |
|--------------------------------|--|------------|
| Persiapan                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alat melakukan proses persiapan dengan mengukur berat awal yang terdeteksi, nantinya nilai berat ini ditetapkan sebagai berat awal.</li> <li>Proses ini membutuhkan waktu beberapa detik. Selesai persiapan diakhir dengan bunyi tit.</li> </ul>  |            |
| Siapkan infus                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alat menampilkan penanda proses tunggu untuk menunggu peletakan tabung infus pada cantolan.</li> </ul>  |            |
| berat infus:<br>359 gr         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alat mendeteksi adanya infus pada cantolan dan menampilkan nilai berat infus.</li> <li>Selanjutnya alat menunggu penekanan tombol pilih untuk menentukan mode kecepatan.</li> </ul>   |            |
| Pilih mode: 1                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alat menampilkan pilihan mode 1.</li> <li>Penekanan tombol pilih selanjutnya menaikkan pilihan mode.</li> <li>Selanjutnya alat menunggu penekanan tombol start untuk memulai proses pendeteksian.</li> </ul>  |            |
| Pilih mode: 2                  |  |            |
| Jalan mode: 2<br>359 gr        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alat menginformasikan bahwa sedang dijalankan mode 2 dengan status belum terdeteksi.</li> <li>Indikasi jalannya proses dapat dilihat dari tampilan berat dan indikator karakter bintang yang berkedip.</li> </ul>   |            |
| Jalan mode: 2 *<br>359 gr      |  |            |
| Jalan mode: 2<br>359 gr lancar | <ul style="list-style-type: none"> <li>Setelah lebih dari 50 detik alat menampilkan status aliran.</li> </ul>  |            |
| Jalan mode: 2<br>359 gr macet  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beberapa detik kemudian alat mendeteksi aliran tidak lancar.</li> <li>Alat menginformasikan status melalui tampilan dan bunyi buzzer.</li> <li>Alat dapat mendeteksi aliran lancar atau macet.</li> <li>Alat dapat menginformasikan status melalui tampilan dan bunyi buzzer.</li> <li>Perbedaannya dari mode sebelumnya pada kecepatan deteksi.</li> </ul> |            |

hanya berperan sebagai penyangga mekanis, tetapi juga sebagai bagian integral dari sistem deteksi.

Selain itu, perangkat dilengkapi dengan lima mode laju cairan infus yang dapat dijadikan acuan dalam proses pemberian cairan kepada pasien. Pemilihan mode dilakukan melalui tombol pengatur yang memungkinkan pengguna memilih salah satu dari lima tingkat laju aliran cairan yang tersedia. Setelah mode laju cairan ditentukan, proses monitoring dapat dimulai dengan menekan tombol *start*, sehingga perangkat segera bekerja memantau laju aliran cairan infus secara otomatis.

#### **4. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan uraian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Terapi infus (intravena) merupakan prosedur penting dalam dunia medis, di mana cairan, elektrolit, obat, atau nutrisi diberikan langsung ke dalam tubuh melalui pembuluh darah vena. Jika aliran cairan terhambat, terutama akibat penyumbatan pada selang infus, kondisi ini dapat menimbulkan risiko serius hingga mengancam jiwa. Dalam konteks ini, sistem monitoring volume infus berbasis Arduino Nano yang dirancang dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemantauan otomatis terhadap volume cairan infus. Dengan menggunakan sensor *load cell*, sistem mampu mendeteksi berat infus secara *real-time*, mengelola data melalui Arduino Nano, dan menampilkan informasi pada layar LCD, sehingga tenaga medis dapat lebih cepat mengetahui potensi gangguan pada aliran infus.
2. Sensor *load cell* yang dikombinasikan dengan modul HX711 terbukti memberikan hasil pengukuran berat yang cukup akurat, dengan karakteristik linier terhadap penurunan volume cairan infus. Berdasarkan hasil pengujian, sistem memiliki tingkat kesalahan relatif kecil, yaitu sebesar 3,07%, yang masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi *monitoring* non-kritis.

Sebagai bagian dari pengembangan lebih lanjut, beberapa saran berikut diajukan:

1. Penambahan fitur deteksi kondisi ekstrem sangat disarankan. Misalnya, ketika terjadi perubahan berat yang terlalu cepat akibat gerakan mendadak pada selang infus, sistem perlu memiliki algoritma penyesuaian agar tidak memberikan alarm palsu (*false alarm*). Mekanisme ini akan meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi dinamis di ruang perawatan.
2. Penguatan fisik dan penyesuaian desain sensor perlu dipertimbangkan, khususnya untuk mengantisipasi pergerakan atau tarikan mendadak pada selang infus yang dapat memengaruhi pembacaan sensor secara tidak wajar. Dengan demikian, akurasi pembacaan dan stabilitas sistem dapat tetap terjaga dalam kondisi penggunaan yang lebih bervariasi.

#### **Daftar Pustaka**

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (n.d.). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- Effendy, C. A., Paramarta, V., & Purwanda, E. (2024). Teknologi Dalam Meningkatkan Kinerja Rumah Sakit (Kajian Literatur). *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7, 13479–13489.  
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
- Fu, Y., Li, P., & Wang, L. (2020). Biocompatible and biodegradable plastics for medical applications. *Materials Today: Proceedings*, 598–604.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Hamzah, M. F. (2025). Sistem Monitoring Cairan Infus Berbasis Internet of Things.

- Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1).  
<https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5488>
- Ilham, M. A., Harsoyo, I. T., Olla, P. K., Maulana, I., Elektromedik, P. T., Tinggi, S., & Semarang, I. K. (2025). Rancang Bangun Alat Monitoring Volume dan Kontrol Tetesan Infus Berbasis Internet Of Things (IoT). 8(2), 127–137. <http://journal.ummat.ac.id/index.php/justek>
- Irawadi, B., Nandito, F. H., Latifah, L., & Dhimas, A. D. (2024). Designing a GPS-based Vehicle Tracking and Monitoring Device with Cellular Communication Support. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 17(1), 15–20.
- Kaur, A., & Kaur, R. (2018). Arduino based intelligent IV drip monitoring and control system. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(2), 583–586.
- Kusriyanto, M., Utama, H. S., & Effendi, I. (2021). Prototype of Automatic Frequency Control in Microhydro Power Plant with Dummy Load Based on Arduino Uno and Labview. *Teknoin*, 27(1), 1–8. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol27.is1.art1>
- Lestariningsih, D., Pranjoto, H., Agustine, L., Werdani, Y. D. W., & Teja, B. (2021). Aplikasi Load Cell Untuk Sistem Monitoring Volume Cairan Infus. *Jurnal Penelitian Saintek*, 26(2), 165–177. <https://doi.org/10.21831/jps.v26i1.34441>
- Omega Engineering. (2018). *Load cell fundamentals*. Omega Engineering Inc.
- Pallás-Areny, R., & Webster, J. G. (2012). Sensors and signal conditioning (3rd ed.). In John Wiley & Sons.
- Pan, Y., & Zhong, L. (2019). Development and applications of medical-grade plastics in healthcare. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 9(4), 107–112.
- Pardosi, K., & Sembiring, D. H. (2025). JUTEK – JURNAL TEKNOLOGI Perancangan Monitoring Botol Infus Pasien Berbasis Arduino Uno Dan Alarm. 1(2), 74–82.
- Patidar, R. K., Tiwari, R., & Sharma, S. (2016). Design and development of IV fluid monitoring system. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5(3), 153–156.
- Putung, Y. R., Noya, D., Aror, V., Sundah, J., & Patabo, M. (2023). Rancang Bangun Pemantauan Cairan Infus Dengan Arduino Nano Berbasis Android. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(1), 01–06. <https://doi.org/10.37905/jjee.v5i1.15352>
- Ratnaningsih, W., Wibowo, M. D., Bagus, R., Wulung, S., Saputra, A., Satwikanitya, P., Sarisky, M., & Elianto, D. (2024). Household Economy Improvement Through Liquid Soap Production From Used Cooking Oil. *ETAM: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 80–92.
- Sumarjono, A. (2018). Perancangan Prototype Lampu Rumah Tangga Via Wireless Bluetooth 2,4 Ghz Berbasis Arduino. *Jurnal Teknoin*, 1(1), 9–20.
- Sunardi, Buyung Irawadi, L. L. (2024). Perancangan Automatic Tissue Processor Pada Tahap Infiltrasi Paraffin Jaringan Untuk Pembuatan Sediaan Preparat Histologi. *Jurnal Fokus Elektroda*, 9(1), 47–52.
- Tampubolon, L. T. Y., Gunawan, I., Nasution, Z. M., Sumarno, S., & Tambunan, H. S. (2021). Rancang Bangun Alat Pemantau Infus Menggunakan Modul 433 Mhz dan Sensor Load Cell Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 107–118. <https://doi.org/10.54082/jupin.16>
- WHO. (2022). *Safe infusion practices and infection prevention*. World Health Organization. <https://www.who.int>