

RANCANG BANGUN SYRINGE PUMP TERINTEGRASI APLIKASI MOBILE UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI KERJA TENAGA MEDIS DAN KESELAMATAN PASIEN

1st Faiz Amsyari Rustam
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
faizamsyari@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Mohammad Yanuar Hariyawan
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
myanuar@telkomuniversity.ac.id

3rd Hendy Briantoro
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
hendybr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Syringe pump adalah alat medis untuk pemberian obat secara akurat, kontinyu, dan dalam jangka lama. Namun, alat ini mahal sehingga hanya dimiliki instansi kesehatan besar. Akibatnya, tenaga medis berisiko melakukan kesalahan dalam pemberian obat dan kurang efisien untuk pengobatan lama karena prosesnya masih manual. Selain itu, syringe pump komersial belum memiliki sistem terintegrasi, sehingga tenaga medis tidak dapat melakukan pemantauan secara realtime, menerima notifikasi saat cairan hampir habis, serta mengontrol alat dari jarak jauh. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan syringe pump dengan akurasi sesuai toleransi, sistem komunikasi data ke internet tanpa mengganggu penggerak, serta integrasi aplikasi mobile untuk meningkatkan efisiensi tenaga medis dan keselamatan pasien melalui fitur monitoring, kontrol, rekap data, dan notifikasi. Pengujian dilakukan pada volume 1–5 ml dan flow rate 20, 30, 40, 50 ml/h. Hasil menunjukkan akurasi volume 99,18% dan waktu 99,80%, dengan error dalam toleransi $\pm 5\%$ pada kalibrasi 246 step. Aplikasi mobile berfungsi dengan baik dengan waktu respons rata-rata 0,67 detik (start), 0,62 detik (stop), dan 3,13 detik (notifikasi). Selain itu fitur monitoring bekerja secara realtime sehingga fitur-fitur ini dapat meningkatkan efisiensi tenaga medis dan keselamatan pasien. Penelitian ini juga menunjukkan penerapan FreeRTOS memungkinkan komunikasi data berjalan tanpa mengganggu sistem syringe pump.

Kata Kunci - *Syringe pump, Aplikasi Mobile, Efisiensi Kerja, Keselamatan Pasien*

I. PENDAHULUAN

Syringe pump adalah alat medis yang tergolong mahal sehingga hanya dimiliki oleh instansi kesehatan besar [1]. Hal ini menyebabkan *syringe pump* tidak dimiliki oleh keseluruhan instansi, sehingga dapat menyebabkan kesalahan manusia dalam pemberian obat karena dilakukan secara manual. *Syringe Pump* merupakan alat medis yang memudahkan pemberian obat

dalam bentuk cairan untuk pasien kritis dan membutuhkan perawatan khusus seperti injeksi obat dengan volume konstan dan dalam jangka waktu tertentu [2]. Pemberian obat dengan *syringe pump* dilakukan otomatis melalui jaringan intravena dengan akurasi tinggi [3]. Dengan ketidakterediaan syringe pump injeksi obat dilakukan manual, hal ini tidak efisien bagi tenaga medis dan dapat menyebabkan kesalahan manusia. Selain persamalahannya tersebut syringe pump komersial tidak dilengkapi sistem terintegrasi sehingga dapat dikembangkan agar efisiensi kerja tenaga medis dan keselamatan pasien meningkat dengan menambahkan fitur monitoring dan kontrol jarak jauh, serta notifikasi saat cairan akan habis. Maka dari itu penelitian syringe pump perlu dilakukan.

Penelitian syringe pump telah dibuat oleh banyak peneliti. Penelitian dengan modifikasi alat sehingga dapat mendeteksi oklusi dan deteksi cairan akan habis, akurasinya sangat tinggi yaitu 98,6%. Penelitian pembuatan peristaltic dan syringe pump untuk terapi gagal ginjal kronis dengan sistem hemodialisa, menghasilkan akurasi syringe pump yaitu 99,3861%. Penelitian otomatisasi plunger untuk meminimalisir kesalahan pengguna dengan akurasi hingga mencapai 99%. Penelitian syringe pump di bidang nanoteknologi dengan akurasi 99,56%. Penelitian penerapan ESP8266 pada syringe pump untuk meningkatkan keselamatan pasien melalui fitur notifikasi saat cairan akan habis dan terjadi oklusi melalui aplikasi.

Mengacu pada penelitian terdahulu penelitian dapat dikembangkan karena penelitian sebelumnya terbatas pada pembuatan alat saja dan untuk integrasi aplikasi hanya terbatas pada notifikasi, maka dari itu dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur monitoring, kontrol, rekap data, dan notifikasi saat cairan akan habis. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis dan keselamatan pasien karena tenaga medis dapat memantau dan kontrol alat dari jarak jauh, dan dapat menerima informasi saat cairan

akan habis meski tidak ada di area pasien melalui notifikasi. Berdasarkan permasalahan mahal nya syringe pump dan potensi pengembangan alat maka penelitian ini bertujuan untuk membuat syringe pump dengan akurasi tinggi, terintegrasi dengan internet tanpa mengganggu penggerak syringe, dan terintegrasi dengan aplikasi mobile dengan berbagai fitur untuk meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis dan keselamatan pasien.

II. KAJIAN TEORI

A. Syringe Pump

Syringe Pump adalah alat medis untuk memberikan cairan obat secara otomatis kepada pasien dengan perawatan khusus meliputi kebutuhan pengobatan dengan akurasi volume dan waktu tinggi, serta dalam jangka waktu lama dan kontinyu. Alat ini membantu dalam pemberian obat khususnya pada pasien yang keterbatasan mengkonsumsi obat secara oral sehingga dimasukkan melalui intravena atau pembuluh darah [4]. Dengan adanya syringe pump maka pemberian obat menjadi efisien dan mengurangi kesalahan manusia khususnya pada pengobatan jangka waktu lama.

B. Nearly Empty dan Empty

Dalam *syringe pump* salah satu yang wajib dideteksi adalah kondisi *nearly empty* dan *empty*. Kondisi ini menunjukkan cairan dalam suntik akan habis atau habis sehingga perlu diinformasikan pada tenaga medis untuk ditindaklanjuti. *Nearly empty* merupakan fitur keamanan yang berfungsi mendeteksi cairan yang akan habis [4]. Berdasarkan hal tersebut *syringe pump* perlu dilengkapi fitur ini agar keselamatan pasien meningkat.

C. Flow Rate

Dalam *syringe pump* ada istilah volume dan *flow rate*. Ini merupakan parameter untuk menentukan kecepatan injeksi dengan satuan ml/h dan perlu dihitung sesuai dengan rumus medis yang berkaitan dengan berat badan, dosis, dan pelarut.

D. Aplikasi Mobile

Aplikasi mobile merupakan program yang dirancang khusus untuk digunakan pada perangkat mobile seperti ponsel, tablet, dan jam tangan digital [5] atau program untuk platform *mobile* seperti android, IOS, atau windows mobile [6]. Aplikasi *mobile* dalam penerapannya mempermudah manusia mengakses perangkat lunak dalam kondisi berpindah-pindah tempat [7].

E. FreeRTOS

Library yang membuat mikokontroller dual core dapat menjalankan dua tugas secara bersamaan karena diletakkan pada dua core yang berbeda. Dengan menggunakan library ini maka tugas berjalan secara paralel dan berguna untuk pengambilan data realtime [8].

F. Firebase Cloud Messaging

Layanan dari google yang dapat mengirimkan pesan berupa notifikasi pada aplikasi dan website. FCM memudahkan mengirim notifikasi untuk banyak user dalam satu waktu.

G. Node JS

Node JS adalah platform open source untuk mengembangkan aplikasi server dan jaringan [9], selain itu digunakan untuk mengembangkan aplikasi web untuk bahasa javascript dan berjalan di server [10]. Node JS juga digunakan untuk membangun API yang dilengkapi Express JS agar lebih mudah.

H. Cloud Firestore

Cloud firestore merupakan database milik google yang fleksibel dan skalabel dengan struktur NoSQL yang dapat diakses langsung oleh android, IOS, dan web [11]. Cloud firestore akan menyimpan data di cloud secara online sehingga seluruh pertukaran data akan menggunakan internet.

I. Flutter

Flutter merupakan framework cross platform untuk pembuatan software di bermacam sistem operasi seperti android, IOS, web, dll. Framework ini bersifat open source dan dilengkapi hot reload sehingga setiap perubahan kode tidak perlu rebuild ulang aplikasi [12]. Flutter memungkinkan programmer untuk membuat software berjalan diberbagai sistem operasi dengan satu kali menulis kode.

J. Teori Kalibrasi Motor Stepper

Pada *syringe pump* suntik didorong menggunakan putaran motor stepper. Maka dari itu perlu dilakukan kalibrasi terhadap motor sehingga volume dan waktu sesuai. Teori kalibrasi yang digunakan adalah mengkonfigurasi motor agar bergerak 1 step/detik sebagaimana disebutkan pada peneliti terdahulu [2], kemudian dicatat jumlah step yang dibutuhkan untuk mencapai 1 ml. Step tersebut kemudian akan dicari nilai volume untuk setiap 1 ml nya dengan persamaan (1).

$$volume = flowrate \times waktu(s) \quad (1)$$

Untuk mencari volume untuk setiap satu step maka persamaan (1) akan dicari flowratanya yang merepresentasikan jumlah volume untuk setiap 1 step motor, dimana perhitungan ini akan menjadi konstanta perhitungan berikutnya. Kemudian input volume dari tenaga medis perlu dikonversi menjadi jumlah step motor, digunakan persamaan (2).

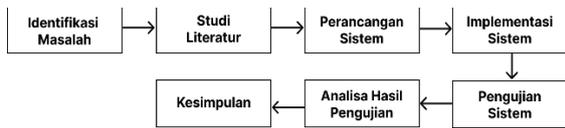
$$volume = step \times C \quad (2)$$

Selain volume *flow rate input* perlu dilakukan konversi pula untuk menentukan nilai delay yang digunakan untuk memutar motor. *Flowrate input* dikonversi dengan persamaan (3) menjadi delay dan akan dikonversi menjadi detik dengan membagi 3600 dengan hasil perhitungan.

$$flowrate \text{ input} = delay \times C \quad (3)$$

III. METODE

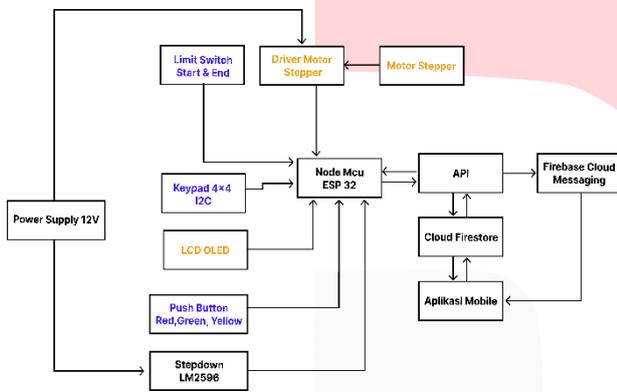
A. Alur Penelitian



GAMBAR 1.
Alur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan identifikasi masalah dan studi literatur terlebih dahulu untuk mengetahui masalah dan solusi yang dapat ditawarkan terkait syringe pump, kemudian dilanjutkan dengan perancangan untuk merencanakan alur dan bentuk sistem, sehingga dalam implementasi akan lebih mudah. Hasil implementasi sistem kemudian akan diuji untuk mengetahui keandalan sistem yang dibuat kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui faktor-faktor penyebab ketidaksesuaian hasil atau memvalidasi hasil sistem. Dari hasil analisa tersebut kemudian akan disimpulkan hasil dari keseluruhan sistem.

B. Desain Sistem



GAMBAR 2.
Diagram Blok Sistem

Berdasarkan gambar (2) sistem syringe pump menggunakan ESP 32 dan diberi suplai tegangan 5V dari power supply yang diturunkan tegangannya oleh stepdown LM2596. Selain itu power supply juga akan terhubung ke driver untuk memberikan tegangan motor stepper. Dalam sistem ini input dan output ESP 32 terdiri dari limit switch start dan end untuk mengetahui posisi awal dan akhir suntik, push button untuk start, stop, dan reset, keypad 4x4 untuk input volume dan flowrate, LCD oled untuk menampilkan informasi, driver motor stepper untuk mengontrol motor, dan motor stepper sebagai penggerak utama. Mengacu pada diagram, sistem syringe pump akan terintegrasi dengan cloud dan firebase cloud messaging melalui API. Cloud digunakan sebagai penyimpanan data dan tempat tukar data antara aplikasi dan ESP32, sedangkan firebase cloud messaging untuk mengirim notifikasi ke aplikasi saat jumlah cairan akan habis. Selain desain keseluruhan sistem, terdapat pula desain mekanis alat seperti pada gambar (3). Menurut gambar penggerak utama diletakkan dibagian atas dan untuk bagian depan terdapat lcd, keypad, dan push button. Kemudian untuk bagian kanan terdapat 3 switch yaitu untuk power supply, power 12V, dan power 5V. Keseluruhan bodi alat akan menggunakan akrilik 3 mm.



GAMBAR 3.
Desain 3D Syringe Pump Tampak Depan dan Samping Kanan

C. Perancangan Hardware Syringe pump

Sistem syringe pump dari sisi hardware akan menggunakan komponen yang dijelaskan pada diagram blok sistem. Namun dalam perancangan ini perlu penjelasan lanjutan terkait motor stepper driver. Motor driver yang digunakan adalah A4988 dilengkapi heatsink dan resistor 0,1 ohm, kemudian untuk motor stepper yang digunakan Nema 17HS4401 dengan rated current 1,5 A. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan perhitungan tegangan referensi dengan persamaan (4) untuk membatasi agar arus tidak berlebih.

$$V_{ref} = I_m \times 8 \times R_{sense} \quad (4)$$

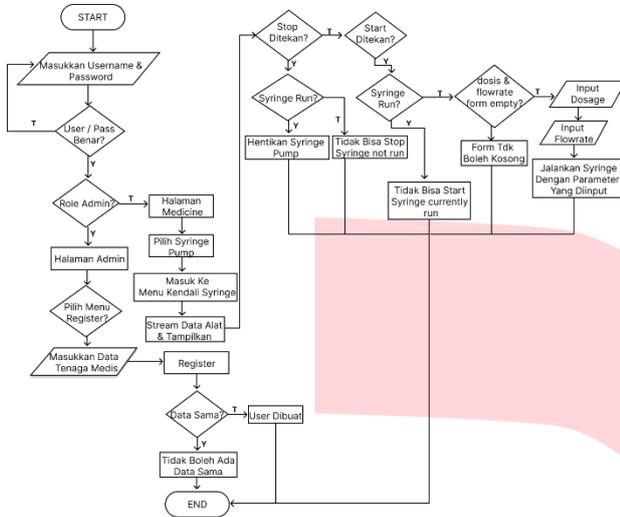
Berdasarkan perhitungan karena arus maksimum adalah 1,5 A maka hasilnya adalah 1,2 V dan ini akan dikonfigurasi pada implementasi sistem dan diuji kembali.

D. Perancangan Software Syringe Pump

Secara garis besar sistem akan dibuat dengan menerapkan konsep paralel, hal ini akan memisahkan antara komunikasi data dengan internet dan sistem utama syringe pump termasuk penggeraknya. Komunikasi data akan diletakkan pada core 0 dan akan terus menerus berjalan pada saat kondisi terkoneksi wifi atau saat tidak terkoneksi namun syringe pump sedang berjalan. Apabila dalam kondisi tidak terkoneksi wifi dan syringe pump standby maka core 0 akan di pause sementara hingga berubah kondisi seperti penjelasan awal. Untuk core 1 akan berisi sistem syringe pump meliputi penggeraknya. Perlu diketahui bahwa dua core ini menjalankan tugas berbeda dan berjalan terus menerus dan saling melengkapi tanpa saling mengganggu. Secara garis besar dalam sistem syringe pump terdapat dua mode yaitu dosage dan refill. Dosage ini fitur utama untuk injeksi dengan memasukkan volume dan flowrate kemudian motor akan bergerak hingga target step tercapai atau pada saat terdapat perintah stop dari tombol emergency atau dari aplikasi. Untuk refill untuk mengembalikan posisi suntik ke awal dengan

memutar motor berlawanan arah hingga limit switch start tertekan. Dalam hardware ini komunikasi data akan terus berlangsung agar dapat dimonitoring dan dikontrol dari jarak jauh, serta dalam kondisi jumlah cairan 20,15,10,dan 5 ml maka alat akan mengirimkan notif ke apps melalui api dan fcm yang menandakan cairan akan habis.

E. Perancangan Aplikasi Mobile



GAMBAR 4. Diagram Blok Sistem

Aplikasi mobile dibangun dengan alur seperti gambar (4). Dalam aplikasi terdapat 2 role yaitu admin dan tenaga medis. Jika login sebagai admin maka masuk ke halaman home admin dan dapat melakukan pembuatan akun tenaga medis baru. Jika login sebagai tenaga medis maka masuk ke halaman home tenaga medis. Dalam home tenaga medis dapat memilih syringe pump yang ingin dikontrol dan dimonitoring, kemudian diarahkan ke halaman control syringe pump. Dalam halaman tersebut dapat melakukan monitoring dan kontrol alat dari jarak jauh, selain itu juga dapat melihat recap data penggunaan alat secara urut. Secara garis besar selain alur yang ada dibelakang aplikasi akan berjalan pembacaan dan penampilan notifikasi saat cairan yang akan habis dan ini berjalan secara terus menerus meski aplikasi ditutup dan dihapus dari memori.

F. Prosedur Pengujian

Pengujian akan dilakukan dalam dua tahap utama yaitu pengujian syringe pump dan aplikasi *mobile*. Pengujian alat dilakukan dengan mengukur akurasi volume dan waktu injeksi kemudian dihitung errornya dan dibandingkan dengan aturan toleransi alat. Alat akan diuji sebanyak 5 kali dalam setiap volume dan diuji dalam rentang 1-5 ml dan flowrate 50, 40, 30, dan 20 ml/h . Pengujian volume akan menggunakan gelas ukur medis 10 ml ketelitian 0,2 ml dan waktu akan menggunakan stopwatch. Selain itu pengujian alat juga dilakukan dalam kondisi dengan dan tanpa internet. Pengujian aplikasi dilakukan dengan menguji fitur monitoring, kontrol, dan notifikasi, dimana ini akan diuji waktu respon dan pengirimannya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa, tingkat kesalahan sistem, dan penyebab ketidaksesuaian akurasi.

G. Perhitungan Error dan Akurasi

Berdasarkan data uji akurasi volume dan waktu kemudian perlu dihitung untuk mengetahui error dan akurasinya. Untuk error dihitung dengan persamaan (5) dan akurasi persamaan (6).

$$Error (\%) = \left| \frac{Nilai Aktual - Nilai Input}{Nilai Input} \right| \times 100 \quad (5)$$

$$Akurasi (\%) = 100 - Error(\%) \quad (6)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Uji Kalibrasi

Berdasarkan pengujian dengan mengkonfigurasi motor bergerak 1 step / detik didapati bahwa jumlah step untuk mencapai volume 1 ml adalah 246 step. Maka dari itu angka tersebut dapat digunakan untuk perhitungan konversi volume menjadi step dan flowrate menjadi delay motor berdasarkan teori kalibrasi motor stepper. Dalam melakukan kalibrasi posisi cairan sedikit keluar pada ujung selang dan dalam kondisi tidak ada tekanan akibat pergerakan sebelumnya. Kondisi ini perlu diperhatikan karena jika sama pada saat pengambilan data maka dapat menyebabkan ketidakakurasian khususnya pada volume. Jumlah step ini akan menjadi parameter kalibrasi yang akan berpengaruh pada akurasi volume dan waktu injeksi.

B. Data Uji Akurasi Volume dan Waktu Injeksi

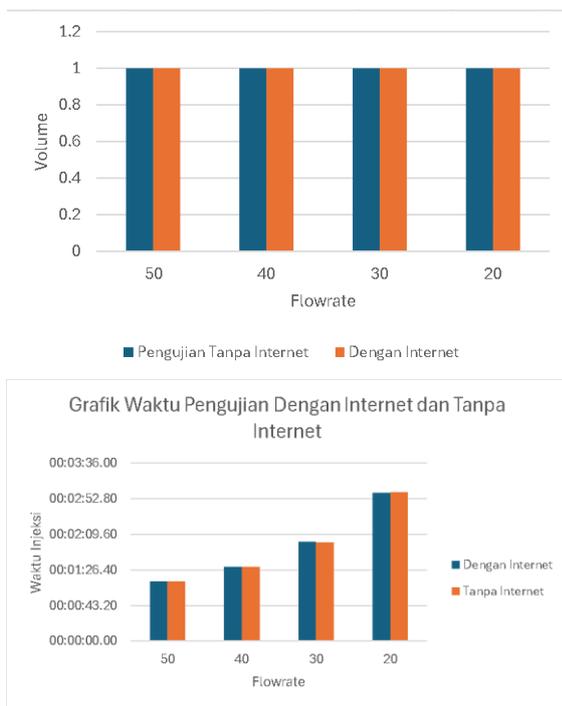
TABEL 1
DATA UJI AKURASI VOLUME DAN WAKTU INJEKSI

Flowrate	Rata-Rata Error Volume	Rata-Rata Error Waktu	Akurasi Volume	Akurasi Waktu
50	0,97	0,18	99,03	99,82
40	0,49	0,26	99,51	99,74
30	0,57	0,20	99,43	99,80
20	1,24	0,15	98,76	99,85
Total Rata-Rata Error Volume			0,82	
Total Rata-Rata Error Waktu			0,20	
Total Akurasi Volume			99,18	
Total Akurasi Waktu			99,80	

Berdasarkan data uji pada tabel (1) menunjukkan bahwa akurasi volume dan waktu injeksi syringe pump yang dibuat memiliki akurasi volume yang cukup tinggi yaitu 99,18% untuk volume dengan error 0,82 % dan 99,80 % dengan error 0,2 %, dimana hal ini diuji sebanyak 5 kali untuk setiap sampel volume di setiap flowrate dan diuji dalam rentang volume 1-5 ml dan flowrate 50, 40,30, dan 20 ml/h. Mengacu pada data akurasi alat cukup tinggi dan berada dalam rentang toleransi yaitu +-5% [13], dimana hal ini dicapai dengan parameter kalibrasi 246 step. Berdasarkan data sistem masih memiliki error, hal ini dapat dianalisa lebih lanjut. Untuk error volume / ketidaksesuaian akurasi volume terjadi karena adanya perbedaan kondisi tekanan dan posisi cairan di ujung selang pada kalibrasi dan pengambilan data, sehingga terkadang alat mampu mencapai nilai yang sesuai dengan seharusnya dan terkadang juga tidak. Untuk error waktu injeksi / ketidaksesuaian akurasi waktu injeksi diakibatkan oleh dua hal yaitu toleransi pengukuran dengan stopwatch yang terkadang terlambat dalam memulai dan menghentikan stopwatch saat pengukuran waktu. Selain itu hal ini

disebabkan adanya penggunaan perintah *delay* yang tidak bekerja pada bilangan desimal sehingga tidak bisa benar-benar presisi. Namun meski begitu secara garis besar hasil akurasi menunjukkan hasil yang baik.

C. Data Uji Akurasi Volume dan Waktu Dengan Internet



GAMBAR 5. Diagram Data Uji Akurasi Volume & Waktu Tanpa dan Dengan Internet

Pada uji dengan internet ini akan dibandingkan data volume dan waktu pada 4 variasi flowrate. Mengacu pada gambar (5) ditunjukkan bahwa antara menggunakan internet dan tanpa internet tidak ada perbedaan yang signifikan, bahkan terlihat tidak ada perbedaan. Hal ini menunjukkan bahwa konsep paralel yang dibuat dengan FreeRTOS dengan memisahkan komunikasi data dan sistem utama syringe pump berjalan dengan baik, hal ini dibuktikan dengan tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap dua data tersebut sehingga komunikasi data berjalan tanpa mengganggu sistem syringe pump begitupun sebaliknya, dan hal ini tentu akan memudahkan menghasilkan data komunikasi yang realtime.

D. Data Uji Waktu Pengiriman Data Ke Internet

TABEL 2
DATA WAKTU PENGIRIMAN DATA ALAT KE INTERNET

No	Kondisi	Waktu Pengiriman
1	Standby	00:00:00.44
2	Standby	00:00:00.42
3	Standby	00:00:00.49
4	Standby	00:00:00.55
5	Standby	00:00:00.42
6	Running	00:00:00.42
7	Running	00:00:00.50

8	Running	00:00:00.43
9	Running	00:00:00.49
10	Running	00:00:00.49
Rata-Rata		00:00:00.47

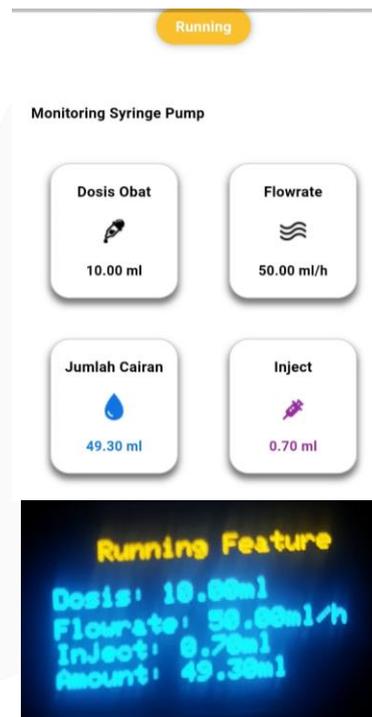
Berdasarkan data pada tabel (2) didapat bahwa rata-rata waktu pengiriman data alat ke internet / cloud yaitu 0,47 detik. Angka ini menunjukkan bahwa prosesnya sangat cepat sehingga dapat menghasilkan data monitoring yang realtime dan sesuai.

E. Data Uji Aplikasi Mobile

Dalam uji aplikasi terdapat 3 hal yang diuji yaitu fitur monitoring, kontrol, penyimpanan riwayat penggunaan alat, dan notifikasi. Hal ini akan dibedah satu persatu agar lebih jelas.

Uji Fitur Monitoring

Berdasarkan data uji pengiriman data alat ke internet dengan waktu yang sangat cepat yaitu 0,47 detik, hal ini akan membuat data yang tampil pada LCD alat akan sesuai dengan yang tampil pada aplikasi. Dalam uji monitoring ini akan dibandingkan antara data yang tampil pada halaman monitoring aplikasi dengan data yang tampil pada LCD alat.



GAMBAR 6. Data Uji Fitur Monitoring Aplikasi Mobile

Berdasarkan gambar (6) menunjukkan bahwa fitur monitoring berjalan dengan baik dan hasilnya sesuai. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya perbedaan antara data yang tampil pada LCD dan di dashboard monitoring aplikasi. Dalam monitoring ini tenaga medis dapat memantau data secara realtime meliputi jumlah cairan, volume yang telah diinjeksikan, flowrate, dan dosis obat. Selain itu tenaga medis juga dapat memantau kondisi alat dengan melihat indikator berbentuk oval dibagian atas yang berubah sesuai dengan kondisi alat yaitu *standby* saat alat tidak melakukan injeksi,

stopped untuk kondisi pada saat proses injeksi namun dihentikan, dan *running* untuk kondisi alat sedang berjalan atau melakukan injeksi. Dengan fitur monitoring ini dapat memudahkan tenaga medis untuk memantau kondisi syringe pump dari jarak jauh dan dapat menerima informasi alat tanpa perlu datang ke tempat sehingga kerja tenaga medis akan menjadi efisien karena informasi didapatkan dengan cepat dan informasinya aktual. Fitur monitoring ini juga membantu tenaga medis untuk memastikan alat bekerja normal atau tidak dari jarak jauh sehingga menjadi lebih efisien.

Uji Fitur Kontrol Syringe Pump

Untuk fitur ini yang diuji yaitu kontrol start dan stop. Pengujian bertujuan memastikan perintah berfungsi dan alat dapat menerima perintah kontrol tersebut.

TABEL 3
DATA UJI PERINTAH KONTROL START

No	Perintah Kontrol	Waktu Respon Alat
1	Start Syringe	00:00:00.85
2	Start Syringe	00:00:00.61
3	Start Syringe	00:00:00.43
4	Start Syringe	00:00:00.66
5	Start Syringe	00:00:00.70
Rata-Rata Waktu		00:00:00.65

TABEL 4
DATA UJI PERINTAH KONTROL STOP

No	Perintah Kontrol	Waktu Respon Alat
1	Emergency Stop	00:00:00.51
2	Emergency Stop	00:00:00.52
3	Emergency Stop	00:00:00.63
4	Emergency Stop	00:00:00.70
5	Emergency Stop	00:00:00.72
RATA-RATA WAKTU		00:00:00.62

Berdasarkan data uji kontrol start dan stop pada tabel (3) dan (4) didapati bahwa perintah kontrol dapat berjalan dengan baik dan waktu respon alat terhadap perintah kontrol start yaitu 0,65 detik dan stop 0,62 detik. Hasil ini berada dibawah 1 detik dan dikatakan memiliki waktu respon yang sangat cepat bahkan mendekati realtime. Dengan hasil seperti ini maka alat dapat dikontrol dari jarak jauh dengan waktu respon cepat, sehingga memudahkan tenaga medis dalam melakukan kontrol dan konfigurasi alat dari jarak jauh, serta dapat memudahkan dalam pengubahan parameter saat injeksi berlangsung. Fitur kontrol dapat meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis karena apabila ingin merubah parameter dapat dilakukan dari jauh dengan waktu respon cepat, sehingga tenaga medis tidak perlu datang ke tempat.

Uji Fitur Notifikasi

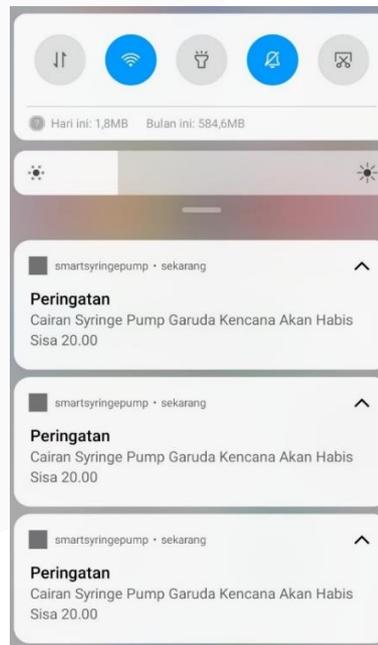
Fitur notifikasi pada dasarnya akan muncul pada aplikasi apabila jumlah cairan pada alat menunjukkan 20, 15, 10, 5, hingga < 5 ml. Data uji yang diambil yaitu pada 20, 15, 10, dan 5 ml dimana setiap volume akan diuji sebanyak

5 kali kemudian dicatat waktu pengiriman notifikasinya dan dilakukan rata-rata, hal ini ditunjukkan pada tabel (5).

TABEL 5
DATA UJI NOTIFIKASI

No	Jumlah Cairan	Rata-Rata Waktu
1	20	00:00:03.31
2	15	00:00:03.13
3	10	00:00:02.83
4	5	00:00:03.27
Rata-Rata Waktu		00:00:03.13

Berdasarkan uji notifikasi pada tabel (5) menunjukkan bahwa notifikasi berhasil terkirim dan juga diterima oleh aplikasi pada jumlah cairan 20, 15, 10, dan 5 ml dengan rata-rata waktu 3,13 detik. Hal ini dapat dikatakan sesuai dengan konfigurasi, karena notifikasi dikonfigurasi agar dikirim setiap 3 detik, tujuannya agar tidak terjadi spam yang sangat cepat dengan informasi yang sama pada aplikasi. Perlu diketahui bahwa notifikasi dapat tampil pada aplikasi pada saat kondisi aplikasi dibuka, aplikasi ditutup namun tidak dihapus dari memori hingga dihapus dari memori. Dengan adanya fitur notifikasi jumlah cairan yang akan habis dapat membantu mengingatkan tenaga medis apabila cairan dalam suntik akan habis meski tidak berada di area ruangan pasien, sehingga diharapkan dapat dilakukan tindakan dengan cepat yang dapat meningkatkan keselamatan pasien. Hasil dari notifikasi ini sebagaimana pada gambar (7).



GAMBAR 7
HASIL UJI NOTIFIKASI

Dalam pembuatan aplikasi mobile selain terdapat fitur monitoring, kontrol, dan notifikasi, aplikasi ini juga dibuat agar dapat menampilkan riwayat penggunaan syringe pump secara urut yang telah disimpan dalam cloud firestore. Tampilan halaman riwayat tersebut ditunjukkan pada gambar (8).



GAMBAR 8

HALAMAN RIWAYAT PENGGUNAAN SYRINGE PUMP

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil keseluruhan penelitian dapat disimpulkan bahwa syringe pump yang dibuat memiliki akurasi volume dan waktu injeksi yang tinggi dan sesuai toleransi $\pm 5\%$ yaitu akurasi sebesar 99,18% dan 99,80 % dengan error 0,91917% dan 0,2%. Hasil akurasi ini dicapai dengan menggunakan parameter kalibrasi 246 step. Dalam data, akurasi tidak mencapai 100 % karena beberapa hal. Ketidaksesuaian pada akurasi volume diakibatkan adanya perbedaan kondisi tekanan dan posisi cairan di ujung selang pada kalibrasi dan pengambilan data, sedangkan ketidaksesuaian akurasi waktu diakibatkan adanya toleransi pengukuran dengan stopwatch dan penggunaan perintah delay yang tidak bekerja pada bilangan desimal sehingga tidak bisa benar-benar presisi untuk waktu injeksi. Dalam sistem yang dibuat dengan konsep paralel menggunakan FreeRTOS juga dapat disimpulkan bahwa konsep ini membuat proses komunikasi data dengan internet tidak mengganggu sistem penggerak syringe pump sehingga akurasinya tidak terganggu, hal ini dibuktikan dengan perbandingan data dengan dan tanpa internet yang tidak memiliki perbedaan signifikan. Kesimpulan akhir, sistem ini dapat mengirim data ke internet dengan cepat yaitu rata-rata 0,47 detik dan dapat terintegrasi dengan aplikasi mobile dengan baik. Data uji menunjukkan bahwa perintah kontrol memiliki respon cepat yaitu 0,65 detik (start) dan 0,62 detik (stop), sehingga tenaga medis dapat melakukan kontrol dari jarak jauh dengan cepat dan dapat meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis karena tidak perlu datang ke area pasien, khususnya untuk melakukan perubahan parameter injeksi. Selain uji kontrol, aplikasi mobile juga mampu memonitoring data dan menampilkan informasi dengan baik, hal ini dibuktikan oleh data monitoring yang sesuai dengan data yang tampil pada data yang tampil pada LCD dan notifikasi dapat muncul dengan baik dengan rata-rata 3,13 detik saat cairan akan habis. Fitur monitoring ini dapat meningkatkan efisiensi kerja tenaga medis karena

tidak perlu datang ke tempat untuk memastikan alat bekerja dengan baik atau untuk pemantauan rutin. Kemudian untuk notifikasi dapat meningkatkan keselamatan pasien karena dapat menjadi pengingat bagi tenaga medis apabila jumlah cairan akan habis, meski tenaga medis tidak berada di area pasien, harapannya informasi cepat melalui notifikasi dapat mempercepat adanya tindakan pengisian cairan.

REFERENSI

- [1] T. D. Ardy, Perancangan Mekanis Mesin Syringe Pump Dengan Ketelitian 0,5 ML/Jam Untuk Proses Injeksi Intravena, 2023.
- [2] I. H. Pramana, Perancangan Dan Realisasi Peristaltic Pump Dan Syringe Pump Dalam Sistem Hemodialisa, Surabaya, 2020.
- [3] E. A. K. Kulla, Modifikasi Alat Syringe Pump Dengan Pendeteksi Oklusi, Semarang, 2023.
- [4] F. N. Rohman, Rancang Bangun Alat Syringe Pump Berbasis Android, 2019.
- [5] A. A. Juniawan, Rancang Bangun Aplikasi E-Commerce Berbasis Mobile Menggunakan Flutter Pada PT Nurul Fikri Cipta Inovasi, 2023.
- [6] J. N. and Y. Hermilasari, "Perancangan Dan Pembuatan Aplikasi Mobile Point Of Sale Pada Outlet Makaroni Judes Berbasis Android," *Jurnal IPSIKOM*, vol. 9, no. 2, pp. 44-52, 2021.
- [7] S. Listiani and W. S. Sari, "Perancangan Aplikasi Mobile E-Commerce Berbasis Android Pada Violet Fashion Jepara," 2015.
- [8] R. R. Firdaus, "Mengapa ESP32 dan FreeRTOS?," 8 November 2024. [Online]. Available: <https://rafzarf.medium.com/mengapa-esp32-dan-freeertos-d07f001b7df8>. [Accessed 13 1 2025].
- [9] F. Widoutomo, H. Ajie and W. , "Pengembangan Web Service Modul Mahasiswa Pada Sistem Informasi Akademik Universitas Negeri Jakarta," *Jurnal Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer*, vol. 5, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [10] I. Kurniawan, H. and F. Rozi, "REST API Menggunakan NodeJS Pada Aplikasi Transaksi Jasa Elektronik Berbasis Android," *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, vol. 1, no. 4, pp. 127-132, 2020.
- [11] F. Azhari, A. Primawati and A. A. R. Awaludin, "Perancangan Aplikasi Penjualan Alat Listrik Pada Toko Bintang Timur Jakarta Berbasis Android," *Jurnal Riset dan Aplikasi Mahasiswa Informatika*, vol. 04, pp. 573-580, 2023.
- [12] J. M. Suhendro, M. Sudarma and D. C. Khrisne, "Rancang Bangun Aplikasi Seluler Penyedia Jasa Perawatan dan Kecantikan Menggunakan Framework Flutter," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, pp. 68-82, 2021.
- [13] World Health Organization, "Covid-19 Technical Specifications for Infusion Devices," pp. 1-13, 2020.

