

LAPORAN TUGAS AKHIR

**SISTEM MONITORING DAN KENDALI INFUS PASIEN
DARI RUANG SENTRAL PERAWAT**



Disusun oleh:

Ardani Iqbal Ramadhan (30602100006)

Juwita Ayyu Lestari (30602100026)

Haris Aulia Azizi (30602100058)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ardani Iqbal Ramadhan
NIM : 30602100006
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“SISTEM MONITORING DAN KENDALI INFUS PASIEN DARI RUANG SENTRAL PERAWAT”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 28 Agustus 2025

Yang Menyatakan



Ardani Iqbal Ramadhan

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM MONITORING DAN KENDALI INFUS PASIEN DARI RUANG SENTRAL PERAWAT

Penyusun:

Haris Aulia Azizi (30602100058)
Juwita Ayyu Lestari (30602100026)
Ardani Iqbal Ramadhan (30602100006)

Semarang, 28 Agustus 2025

Dosen Pembimbing

Agus Suprajitno, ST., MT
NIDN. 0602047301

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, ST., MT.
UNIS NIK. 210615047

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “SISTEM MONITORING DAN KENDALI INFUS PASIEN DARI RUANG SENTRAL PERAWAT” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 28 Agustus 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ir. Muhammad Khosy'in, ST., M.T. IPM.
NIDN : 0625077901
Ketua dan Penguji I

Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN : 0619107301
Penguji II

Agus Suprajitno, S.T., M.T.
NIDN : 0602047301
Pembimbing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
RINGKASAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Identifikasi Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan.....	7
1.4. Batasan Masalah.....	7
1.5. Batasan Realistis Aspek Keteknikan.....	8
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	9
2.1. Studi Literatur dan Observasi.....	9
2.2. Dasar Teori	16
2.2.1. Infus	16
2.2.2. <i>Infusion Pump</i>	17
2.2.3. Parameter Yang Digunakan	18
2.2.4. Sensor <i>Load Cell</i> HX711	18

2.2.5.	Sensor <i>Infrared</i>	20
2.2.6.	Sensor <i>Optocoupler</i>	21
2.2.7.	Mikrokontroler	21
2.2.8.	<i>Expansion Board</i>	22
2.2.9.	Motor Servo	23
2.2.10.	Motor Linier	24
2.2.11.	Baterai Lithium.....	24
2.2.12.	<i>Battery Management System</i>	25
2.2.13.	Keypad 4*4.....	26
2.2.14.	Display layar OLED.....	26
2.2.15.	<i>Internet Of Things</i>	27
2.2.16.	<i>Blynk</i>	28
2.2.17.	Telegram.....	29
2.2.18.	Protokol Komunikasi TCP/IP	30
2.3.	Analisis <i>Stakeholder</i>	32
2.4.	Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem.....	33
2.4.1.	Bidang Ekonomi	33
2.4.2.	Bidang Industri Kesehatan	34
2.4.3.	Bidang Sosial	34
2.5.	Spesifikasi Sistem.....	34
BAB 3. USULAN SOLUSI		35
3.1.	Usulan Solusi 1	37
3.1.1.	Desain Sistem 1	37
3.1.2.	Rencana Anggaran Desain Sistem 1	43
3.1.3.	Analisis Risiko Desain 1	44

3.1.4.	Pengukuran Performa.....	45
3.2.	Usulan Solusi 2.....	45
3.2.1.	Desain Sistem 2.....	46
3.2.2.	Rancangan Anggaran Desain 2	49
3.2.3.	Analisa Resiko Desain 2	51
3.2.4.	Pengukuran Performa.....	52
3.3.	Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik.....	52
3.4.	<i>Gantt Chart</i>	53
3.5.	Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	54
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN		57
4.1.	Hasil Rancangan Sistem.....	57
4.1.1.	Rangkaian Elektronik.....	57
4.1.2.	Gambar Desain Tiga Dimensi (3D)	63
4.1.3.	<i>Software</i> atau <i>Interface</i>	64
BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS		72
5.1.	Analisis Hasil	72
5.1.1.	Hasil dan Analisis Pengujian Indikator.....	72
5.2.	Analisis Dampak Implementasi.....	83
5.2.1.	Bidang Teknologi.....	83
5.2.2.	Bidang Sosial	84
5.2.3.	Bidang Ekonomi	84
5.2.4.	Bidang Lingkungan.....	84
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN		83
6.1.	Kesimpulan.....	83
6.2.	Saran	83

DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Infus [16]	17
Gambar 2.2 <i>Load Cell</i> HX711 [17]	20
Gambar 2.3 Sensor Infrared [18].	21
Gambar 2.4 Sensor <i>Optocoupler</i>	21
Gambar 2.5 Mikrokontroler ESP32 [20]	22
Gambar 2.6 ESP32 Expansion Board [21]	22
Gambar 2.7 Motor Servo SG90 [22]	24
Gambar 2.8 Motor Linier [23].	24
Gambar 2.9 Baterai Lithium [25]	25
Gambar 2.10 Battery Management System (BMS)	26
Gambar 2.11 Keypad 4*4	26
Gambar 2.12 Layar Oled	27
Gambar 2.13 Logo Blynk	28
Gambar 2.14 Logo Aplikasi Telegram	29
Gambar 3.1 Metode rekayasa sistem rekayasa	35
Gambar 3.2 Diagram blok usulan desain 1	38
Gambar 3.3 Flowchart Desain Sistem 1	39
Gambar 3.4 Desain 3D Sistem 1	40
Gambar 3.5 Usulan tampilan dashboard rancangan web server Blynk komputer	42
Gambar 3.6 Usulan tampilan dashboard rancangan Blynk mobile smartphone ...	43
Gambar 3.7 Diagram blok usulan 2	46
Gambar 3.8 Flowchart Desain Sistem 2	47
Gambar 3.9 Desain 3D Sistem 2	47
Gambar 3.10 Tampilan Telegram	51
Gambar 4.1 Rangkaian elektronik menggunakan Fritzing	58
Gambar 4.2 Desain 3D sistem monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat	63
Gambar 4.3 Flowchart Program	64
Gambar 4.4 pengaturan virtual pin datastream	67

Gambar 4.5 pengaturan virtual pin blynk	67
Gambar 4.6 Tampilan di blynk	68
Gambar 4.7 Desain interface monitoring pada komputer perawat	69
Gambar 4.8 Desain interface monitoring dari smartphone perawat	69
Gambar 5.1 Grafik hasil pengujian sensor <i>load cell</i>	75
Gambar 5.2 Grafik hasil pengujian sensor <i>optocoupler</i>	77
Gambar 5.3 Grafik hasil pengujian konsumsi daya baterai	78
Gambar 5.4 Grafik hasil pengujian pengisian baterai	79



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Infus Konvensional dengan Sistem Monitoring dan Kendali Infus Pasien dari Ruang Sentral Perawat.....	2
Tabel 1.2 Hasil survey dengan stakeholder.....	3
Tabel 2.1 Hasil studi literatur solusi sejenis.....	9
Tabel 2.2 Penjelasan parameter yang akan di monitoring	18
Tabel 2.3 Analisis Stakeholder	32
Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan satu sistem perangkat keras sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat.....	41
Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan usulan satu sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat	43
Tabel 4.1 Komponen rangkaian elektronik.....	58
Tabel 4.2 virtual pin	68
Gambar 5.1 Grafik hasil pengujian sensor <i>load cell</i>	75
Gambar 5.2 Grafik hasil pengujian sensor <i>optocoupler</i>	77
Gambar 5.3 Grafik hasil pengujian konsumsi daya baterai	78
Gambar 5.4 Grafik hasil pengujian pengisian baterai	79

RINGKASAN

Penanganan pasien yang memerlukan terapi infus membutuhkan ketelitian dalam memantau laju tetesan dan volume cairan yang tersisa. Keterlambatan dalam pemantauan dapat menyebabkan komplikasi seperti over-infus atau infus kosong yang tidak terdeteksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat membantu tenaga medis dalam memantau dan mengendalikan infus secara efisien.

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kendali infus berbasis Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan kondisi infus secara real-time dari ruang sentral perawat. Sistem ini menggunakan sensor *load cell* untuk mendeteksi volume cairan infus, serta modul kontrol berbasis mikrokontroler (seperti ESP32) yang terhubung ke jaringan Wi-Fi. Data hasil pemantauan dikirimkan ke aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan yang dapat diakses melalui perangkat mobile atau komputer.

Selain monitoring, sistem juga dilengkapi dengan kendali aktuator (servo) yang dapat mengatur kecepatan tetesan infus secara otomatis sesuai kebutuhan. Dengan begitu, perawat tidak perlu lagi menyesuaikan tetesan secara manual di setiap ruangan pasien.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan data sensor terhadap volume aktual dan mengukur respons sistem terhadap kendali jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan volume dengan akurasi yang baik dan mengatur laju tetesan dengan responsif.

Sistem ini dapat meningkatkan kinerja kerja tenaga medis, mengurangi risiko kelalaian, dan mempercepat penanganan pasien secara tepat waktu, khususnya di lingkungan rumah sakit dengan jumlah pasien yang tinggi.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Identifikasi Masalah

Semakin pesatnya kemajuan teknologi saat ini mendorong manusia untuk menciptakan alat yang dapat membantu kinerja manusia dalam menjalankan pekerjaan agar lebih mudah dan efisien. Inovasi teknologi ini dapat memberikan manfaat jika diterapkan dengan benar. Dalam konteks ini, kebutuhan akan teknologi sangat penting di bidang kesehatan.

Dengan luasnya rumah sakit, jumlah pasien yang tinggi, serta kekurangan tenaga medis, tuntutan untuk memberikan pelayanan yang baik selalu menjadi tantangan di setiap rumah sakit. Salah satu isu yang dihadapi adalah memantau pemberian cairan infus [1].

Penggunaan infus set konvensional sebenarnya tidak terlalu sulit karena pasien dapat diawasi dan diawasi secara berkala oleh perawat dalam waktu yang singkat. Namun, ini sering menyebabkan masalah. Dikarenakan sejumlah alasan, seperti kekurangan sumber daya manusia di rumah sakit, kelalaian perawat, dan tindakan pasien sendiri, seorang bayi meninggal akibat kesalahan perawat yang terlambat mengganti cairan infus sang bayi [2].

Dalam dunia medis, sistem monitoring dan kendali infus pasien merupakan aspek krusial yang berfungsi untuk memastikan bahwa pasien menerima cairan dan obat-obatan dengan tepat. Infus adalah metode umum untuk memberikan cairan secara *intravena*, yang sangat penting dalam perawatan pasien, terutama di rumah sakit. Proses pemantauan infus saat ini masih dilakukan secara manual oleh perawat, yang harus memeriksa secara langsung ke ruang pasien untuk memastikan aliran infus berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan ditentukan. Hal ini tidak hanya menyita waktu, tetapi juga dapat mengurangi efisiensi pelayanan medis secara keseluruhan [3].

Tabel 1.1 Perbandingan Infus Konvensional dengan Sistem Monitoring dan Kendali Infus Pasien dari Ruang Sentral Perawat

Aspek	Infus Konvensional	Sistem Monitoring dan Kendali Infus Pasien dari Ruang Sentral Perawat
Definisi	Alat infus yang cairannya diatur secara manual oleh perawat menggunakan roller clamp untuk mengendalikan laju aliran cairan infus.	Sistem yang memantau dan mengontrol aliran infus dari jarak jauh, dan memberikan data <i>real-time</i> .
Fungsi Utama	Mengalirkan cairan infus ke tubuh pasien	Memantau status infus, dan mengontrol termasuk jumlah cairan yang tersisa dan kecepatan aliran tetesan.
Metode Pemberian	Menggunakan selang infus dan diatur secara manual oleh perawat.	Dapat terhubung dengan perangkat lain untuk pemantauan jarak jauh, seperti smartphone atau komputer.
Keuntungan	Sederhana, mudah digunakan, dan tidak memerlukan listrik.	Mengurangi beban kerja perawat dengan cara memberikan notifikasi otomatis saat infus hampir habis.
Keterbatasan	Sulit mengatur tetesan secara akurat dan perlu diawasi terus-menerus.	Tergantung pada konektivitas dan teknologi untuk berfungsi dengan baik.
Penggunaan Teknologi	Tidak menggunakan teknologi digital, hanya alat mekanik.	Menggunakan <i>Internet of Things</i> (IoT) atau aplikasi mobile untuk pemantauan dan kendali jarak jauh.
Contoh Penggunaan	Umum digunakan di ruang perawatan biasa.	Digunakan di rumah sakit untuk memantau beberapa ruang pasien sekaligus dari ruang sentral perawat.

Menurut survei yang dilakukan oleh Ruslan Agus Salim dan rekan-rekannya ditemukan bahwa 90% pasien di rumah sakit menerima pengobatan melalui infus, namun pemantauan cairan infus masih dilakukan secara manual oleh perawat. Proses ini melibatkan pemeriksaan satu per satu kondisi infus pasien selama 24 jam,

yang sering kali mengakibatkan kesalahan dan keterlambatan dalam penggantian cairan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa responden melaporkan adanya darah yang naik ke selang infus, yang jika tidak segera ditangani dapat membentuk bekuan darah, berpotensi mengganggu kelancaran aliran cairan infus dan menyebabkan komplikasi lebih lanjut [1].

Lebih lanjut, menurut penelitian yang dilakukan oleh Nuryanto Muljodipo dan rekan-rekannya menyoroti bahwa kesalahan dalam pemasangan dan pemantauan infus dapat berakibat fatal. Dicatat bahwa tenaga medis menghitung tetes infus sambil melihat jam tangan selama satu menit, sebuah metode yang tentu masih jauh dari tingkat ketelitian yang diharapkan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pemberian dan jumlah cairan infus meliputi kelelahan petugas medis yang dapat mengganggu akurasi jumlah tetesan, serta posisi tangan pasien yang sering bergerak sehingga memengaruhi aliran tetesan tersebut [4]. Hal ini menunjukkan perlunya inovasi dalam sistem monitoring infus untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan pasien.

Keterlambatan dalam penggantian atau pemantauan infus dapat menyebabkan komplikasi serius bagi pasien, seperti dehidrasi atau kelebihan cairan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem yang dapat memantau dan mengontrol aliran infus dari jarak jauh. Sistem monitoring yang terintegrasi dengan teknologi seperti mikrokontroler dan sensor dapat memberikan solusi yang efektif untuk masalah ini [5]. Dengan sistem ini, perawat tidak perlu lagi melakukan pengecekan manual secara rutin, sehingga dapat lebih fokus pada tugas-tugas lain yang juga penting dalam perawatan pasien.

Tabel 1.2 Hasil *survey* dengan *stakeholder*

Pertanyaan	Jawaban/Tanggapan
Tenaga Medis	
Apa saja masalah utama infus yang perlu diperhatikan untuk pasien?	Masalah utama yang perlu diperhatikan dalam pemberian infus pada pasien meliputi keterbatasan pemantauan manual yang meningkatkan risiko kelalaian dalam pengawasan infus.

Pertanyaan	Jawaban/Tanggapan
Tenaga Medis	
	Terutama pada sisa cairan infus dan kecepatan cairan infus.
Bagaimana pendapat anda mengenai kelalaian atau keterlambatan dari perawat saat cairan infus pasien habis atau mengalami kendala?	Kelalaian atau keterlambatan perawat dalam mengganti cairan infus yang habis dapat menimbulkan risiko serius, seperti darah pasien naik ke selang infus yang berpotensi menyebabkan pembekuan darah dan infeksi. Selain itu, penghentian aliran cairan yang terlambat dapat mengganggu kelancaran pengobatan, menimbulkan nyeri, ketidaknyamanan, dan bahkan memperburuk kondisi pasien. Karena tenaga medis tidak selalu bisa memantau setiap pasien secara terus-menerus.
Bagaimana pendapat anda tentang cara memantau kondisi infus pada pasien?	Cara memantau kondisi infus pada pasien sebaiknya menggabungkan pengawasan manual oleh tenaga medis dengan teknologi monitoring otomatis berbasis sensor dan IoT.
Apakah ada saran terkait masalah yang muncul akibat kelalaian dari tenaga medis?	Saran utama untuk mengatasi masalah akibat kelalaian tenaga medis adalah meningkatkan edukasi dan komunikasi yang efektif kepada pasien, keluarga, dan penunggu tentang pentingnya pengawasan infus, termasuk larangan mengubah kecepatan tetesan dan kewajiban melapor jika terjadi gangguan.
Bagaimana pendapat Anda tentang alat pemantau infus pasien di ruang sentral perawat? Apakah alat tersebut memberi kemudahan dalam pekerjaan?	Sangat membantu dalam melakukan pemantauan pasien dari jarak jauh, sehingga perawat dapat dengan mudah mengawasi jumlah cairan yang masuk ke dalam tubuh pasien, mengenali saat infus habis, mendeteksi infus yang

Pertanyaan	Jawaban/Tanggapan
Tenaga Medis	
	macet, dan memastikan semuanya tetap terkendali.
Bagaimana tujuan infus untuk pasien?	Setiap alat infus memiliki keunikan dan ketentuan tersendiri, termasuk tekanan yang diperlukan serta kondisi dehidrasi pasien. Untuk membuat alat infus yang tepat, penting untuk menyesuaikannya dengan kebutuhan parameter dan perhitungan untuk setiap jenis cairan infus yang digunakan.
Bagaimana rumus transfusinya?	$\frac{\text{program tts} \times 60}{15} = \dots \text{ cc/jam}$
Keluhan atau tanggapan yang berkaitan dengan tindakan tenaga medis dalam penanganan infus pasien? (misalnya: keterlambatan dalam mengganti infus)	Keterlambatan dalam mengganti infus, sering terjadinya penyumbatan atau macet pada infus, serta adanya gangguan penyumbatan pada infus.
Menurut pendapat Anda, apa solusi yang paling tepat untuk masalah tersebut?	• Pemantauan jarak jauh dijalankan supaya infus dapat terlihat dengan jelas. • Diperlukan teknologi yang mampu melakukan pemantauan infus pada pasien untuk mencegah keterlambatan. • Dibutuhkan alat yang dapat memantau kondisi infus pasien, sehingga memudahkan perawat dalam melakukan pemantauan dan mengambil keputusan berdasarkan kondisi infus pasien.
Bagaimana cara menjelaskan mengenai jumlah tetesan cairan infus yang diberikan kepada pasien?	Mengatur jumlah tetesan cairan infus memerlukan perhitungan dan kriteria kecepatannya. Kecepatan infus ditetapkan pada 150 cc/jam, 1 ml = 20 - 60 tetesan. Namun, untuk anak-anak, batas maksimal yang digunakan adalah 60 tetesan.

Pertanyaan	Jawaban/Tanggapan
Tenaga Medis	
Bagaimana cara kerja infus konvensional yang saat ini telah digunakan?	Infus konvensional bekerja dengan prinsip aliran cairan dari botol atau kantong infus melalui selang ke pembuluh darah pasien secara gravitasi. Pengaturan kecepatan tetesan dilakukan secara manual oleh perawat dengan mengamati jumlah tetesan yang jatuh di ruang tetes (drip chamber) dan menghitung tetesan per menit menggunakan jam atau stopwatch.

Sistem informasi monitoring infus diharapkan dapat memberikan data real-time mengenai status infus, termasuk jumlah cairan yang tersisa dan kecepatan aliran tetesan. Data ini akan dikirimkan ke pusat kendali di ruang sentral perawat, memungkinkan untuk mengambil tindakan cepat jika terjadi masalah, seperti kemacetan atau kehabisan cairan [6]. Selain itu, penggunaan teknologi ini dapat meningkatkan akurasi dalam pemantauan dan mencegah kesalahan manusia yang sering terjadi dalam penggunaan infus secara manual.

Oleh karena itu, project ini membuat sebuah inovasi baru berupa sistem monitoring dan kendali infus pasien yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT). Sistem ini memungkinkan perawat yang di ruang sentral perawat menerima notifikasi dari perangkat yang terpasang pada infus, serta menggunakan komunikasi serial WiFi untuk memantau berbagai parameter yang diperlukan. Keunggulan teknologi ini terletak pada cara pemberitahuan yang inovatif, yang mencakup notifikasi terkait informasi penting, seperti kecepatan aliran infus, kendali tetesan jarak jauh dan ada atau tidaknya tetesan cairan infus.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang memuat permasalahan diatas dalam keterbaruan inovasi monitoring dan kendali infus pasien di ruang sentral perawat sebagai berikut:

1. Bagaimana desain sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat dalam aspek teknis maupun biaya?
2. Bagaimana membangun sistem monitoring infus pasien dari ruang sentral perawat?
3. Bagaimana membangun sistem kendali jarak jauh tetesan infus pasien dari ruang sentral perawat?
4. Bagaimana pengujian sistem monitoring dan control infus pasien dari ruang sentral perawat?

1.3. Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan ini sesuai dengan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mendesain sistem alat monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat dari aspek teknis maupun biaya.
2. Membangun sistem alat monitoring infus pasien dari ruang sentral perawat.
3. Membangun sistem kendali jarak jauh tetesan infus dari ruang sentral perawat.
4. Menguji sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada monitoring dan kendali infus di ruang perawat yaitu:

1. Sistem ini digunakan untuk satu pasien dengan satu botol infus dan dapat dipindahkan antar ruangan sesuai kebutuhan.
2. Mikrokontroler yang digunakan ESP 32, sensor optocoupler digunakan untuk membaca nilai tetesan permenit, sensor loadcell digunakan untuk membaca sisa cairan infus.
3. Sistem hanya mengirimkan notifikasi kondisi infus pasien ke ruang sentral perawat, Parameter yang dimonitor meliputi kecepatan tetesan, volume cairan tersisa, serta kendali aliran infus
4. Sistem hanya dapat mengontrol tetesan infus langsung atau jarak jauh.

1.5. Batasan Realistis Aspek Keteknikan

Adapun batasan realistis aspek keteknikan pada monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat yaitu:

1. Alat ini dilengkapi dengan kemampuan untuk monitoring kecepatan infus, sisa cairan infus dan kendali kecepatan tetesan, dari ruang sentral perawat yang menggunakan WiFi dengan web dan aplikasi *Blynk* atau aplikasi Telegram.
2. Pemantauan infus dilakukan dengan jumlah 1 alat untuk 1 pasien di setiap kamarnya.
3. Alat ini menggunakan sensor *load cell* dan sensor *optocoupler* sebagai elemen utama untuk mengukur dan mengetahui kecepatan aliran infus dan ada atau tidaknya tetesan cairan infus.
 - a. Untuk mendeteksi kecepatan aliran infus dan mendeteksi ada atau tidaknya tetesan cairan infus akan menggunakan sensor *optocoupler*.
 - b. Untuk mendeteksi sisa cairan infus akan menggunakan sensor *load cell*.
 - c. Alat ini menggunakan motor servo atau motor linier untuk mengendalikan kendali tetesan infus.
4. Pada desain ini berbentuk kotak yang tidak lancip, bagian luar menggunakan bahan ABS agar tidak terkena listrik saat disentuh, sehingga tetap aman untuk digunakan sebagai standar keselamatan.
5. Alat ini dapat mengontrol tetesan infus dengan cara jarak jauh.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1. Studi Literatur dan Observasi

Dalam pembuatan *project capstone* untuk menyelesaikan masalah yang terdapat di Bab 1 maka dibutuhkan studi literatur dan observasi mengenai monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat yang bertujuan untuk menunjang *project* tersebut. Berikut ini merupakan beberapa jurnal yang membahas terkait monitoring dan kendali infus pasien dari ruang perawat yang ditunjukkan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Hasil studi literatur solusi sejenis

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
Monitoring Cairan Infus Secara <i>Real-Time</i> [7]	Solusi yang diberikan peneliti adalah system elektronik dengan sensor cahaya yang mampu mengetahui jumlah cairan infus ketika infus tersebut sudah penuh. Selain itu, menggunakan program CVAVR dan proteus serta dibantu dengan <i>buzzer</i> untuk memudahkan perawat dalam memantau cairan infus.	Hasil: Menampilkan keadaan volume cairan infus yang beragam dengan ditunjukkan melalui lampu LED yang menyala dan berubah warna serta informasi yang terlihat di layar monitor ruangan perawat. Ketika ada perbedaan dalam volume cairan infus, lampu LED akan menyala dan berganti warna, serta pesan akan ditampilkan di monitor melalui LCD. Kelebihan: Dari pengujian, akurasinya mencapai 89% dan hasilnya dapat ditampilkan pada LCD Kekurangan: Kekurangan pada jumlah cairan infus perlu dideteksi oleh sensor, sehingga alat tersebut harus diletakkan pada posisi lurus di sisi kanan dan kiri infus.

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
Sistem Monitoring Infus Menggunakan Arduino Mega 2560 [8].	Solusi yang diberikan peneliti adalah suatu sistem yang mendeteksi infus yang terisi dan kosong dengan memanfaatkan kabel yang terhubung sebagai jalur komunikasi antara mikrokontroler dan computer, untuk mengukur cairan yang habis menggunakan <i>buzzer</i> sebagai tanda alarm bahwa cairan infus sudah habis.	Hasil: Menampilkan sebuah kendali proporsional <i>derivatif</i> yang memberikan informasi terkini tentang cairan infus pasien kepada perawat. Selain itu, proses pengukuran cairan infus dilakukan menggunakan sensor cahaya yang diubah menjadi volume cairan pada Atmega32. Kelebihan: Sistem pemantauan infus ini dapat dipantau secara langsung dengan hasilnya bisa ditampilkan di komputer melalui komunikasi serial yang digunakan. Kekurangan: Dalam pengujian, deteksi infus terisi dan infus kosong kurang tepat, serta pengujian sensor untuk mendeteksi tetesan tidak stabil disebabkan oleh waktu tunda saat pengiriman data dari alat ke aplikasi serta faktor pencahayaan.
Monitoring Aliran Infus Pasien Macet Di Ruang Perawat Menggunakan <i>NRF Wireless</i> [9].	Solusi yang diberikan oleh peneliti adalah alat yang bisa memberikan notifikasi tentang infus yang terhambat dari jarak jauh, menggunakan mikrokontroler atmega	Hasil: Alat ini dapat mengenali tetesan menggunakan transmitter arduino untuk mengolah informasi tetesan dalam sebuah pesan yang kemudian dikirim menggunakan transmitter

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
	8355 untuk memproses data I/O dari komparator. Informasi ini akan ditunjukkan di monitor dengan menggunakan LED, LCD, dan <i>buzzer</i> .	NRF241.01, dan perangkat ini dapat mengirimkan informasi tentang status infus ke penerima secara langsung. Kelebihan: Informasi mengenai status infus dapat dikirim hingga jarak 50 meter di luar ruangan dan 25 meter di dalam ruangan, dengan tingkat akurasi 91,22% menggunakan transmitter NRF241.01. Kekurangan: Alat pendeteksi tetesan ini masih memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat merekam atau menunjukkan jumlah tetesan, dan jika melampaui jarak yang telah ditentukan, alat pemantau infus pasien yang mengalami gangguan tidak akan terdeteksi.
Rancang Bangun Sistem Portable Monitoring Infus Berbasis <i>Internet Of Things</i> [10].	Solusi yang diberikan oleh peneliti adalah alat untuk memantau infus dengan teknologi <i>internet of things</i> (IoT) menggunakan 2 platform yaitu server web dan aplikasi grafik telegram.	Hasil: Menampilkan peralatan monitoring yang dapat mengirimkan data ke server web dan notifikasi melalui telegram. Selain itu, dapat dikendalikan melalui jaringan internet. Kelebihan: Menunjukkan hasil ujian akurasi mencapai 97%. Kekurangan: Memiliki kelemahan pada mekanisme sensor, baik dari desain maupun bahan yang masih kurang baik,

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		sehingga tingkat pembacaan sensor dan ketahanan seringkali mengalami error dan server juga rentan mati.
Rancang Bangun Sistem Nurse Call Terhadap Kegagalan Infus Pump Menggunakan Mikrokontroler Atmega835 [11].	Solusi yang diberikan oleh peneliti adalah desain panggilan perawat menggunakan mikrokontroler atmega 835. Selain itu, ada <i>buzzer</i> yang berbunyi saat infus sudah kosong.	Hasil: Menampilkan pengukuran, kondisi, dan tegangan dari tetesan <i>infusion pump</i>. Selain itu, <i>infusion pump</i> adalah alat medis yang mengandung zat tambahan yaitu elektrolit, sehingga ditambahkan sensor <i>photodiode</i> untuk mengukur tegangan yang timbul saat mendeteksi tetesan infus. Kelebihan: Sistem yang dibuat mampu dikirim lewat HC-05 ke nurse call untuk memantau <i>infusion pump</i> Kekurangan: Hasil dari pengukuran ini masih belum memadai dan untuk desain sensor <i>photodiode</i>-nya kurang efektif dalam mendeteksi karena posisi <i>infusion pump</i> harus tepat.
Monitoring Cairan Infus Menggunakan <i>Load Cell</i> Berbasis <i>Internet Of Things</i> (IoT) [12].	Solusi yang diberikan oleh peneliti adalah sebuah sistem yang memantau keadaan volume infus dan jumlah tetes per menit dengan memakai <i>load cell</i> untuk volume infus	Hasil: Menampilkan situasi volume infus dan tetesan secara <i>real-time</i>. Selain itu, juga menampilkan <i>platform</i> berbentuk server web yang memiliki jeda waktu 10-30 detik untuk menampilkan hasil pengukuran di

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
	serta sensor <i>infrared</i> untuk mendeteksi aliran atau tetesan infus setiap menit. Komunikasi serial untuk platform memanfaatkan Arduino Uno untuk mengirimkan data dari sensor ke NodeMCU ESP8266, sementara perangkat lunak yang digunakan adalah XAMPP dan MySQL.	monitor sesuai dengan kecepatan internet. Peneliti ini juga menyajikan <i>dashboard</i> web <i>internet of things</i> di smartphone. Kelebihan: Akurasi pengukuran sensor <i>load cell</i> mencapai sekitar 99.8%, didukung oleh TPM dan sensor <i>optocoupler</i> yang dapat mendeteksi jumlah tetesan infus. Kekurangan: Komunikasi serial dan perangkat lunak yang digunakan belum dapat menyimpan hasil dari pemantauan data, sehingga hanya dapat melakukan pemantauan dengan satu indikator dari setiap sensornya.
Sistem Pemantauan Tetesan Cairan Infus Berbasis <i>Internet Of Things</i> [6].	Solusi yang diberikan adalah sebuah sistem pemantauan laju yang memanfaatkan sensor <i>Infrared</i> , data kemudian diolah dengan mikrokontroler Arduino sebelum diteruskan melalui modul frekuensi radio NRF24L01.	Hasil: Menampilkan hasil pengujian jarak koneksi jaringan untuk base dan hotspot yang dapat diterima hingga 3.5 meter, dan waktu pengiriman data sekitar 2 detik. Selain itu, sistem infus dideteksi dengan menggunakan sensor <i>infrared</i> yang dikirim oleh transmitter, sehingga diterima oleh receiver dari sensor yang terpasang pada infus. Kelebihan: Tersedia juga situs web yang memanfaatkan modul WiFi

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		untuk menyimpan data di <i>database</i> server. Kekurangan: Tingkat akurasi alat ini dalam pengujian masih rendah dan tidak menunjukkan konsistensi dalam hasil yang diperoleh.
Pengembangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Tetesan Cairan Infus Otomatis Berbasis LabView dengan Logika Fuzzy [13].	Solusi yang diberikan adalah sistem yang bisa secara otomatis memantau tetesan cairan infus dengan memanfaatkan LabView untuk menghasilkan tampilan <i>graphic user interface</i> yang mengawasi cairan infus secara <i>real-time</i> dan logika Fuzzy untuk pengambilan keputusan.	Hasil: Sistem ini mampu mendeteksi tetesan cairan yang melewati <i>drip chamber</i> dengan menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino berdasarkan kecepatan tetesan cairan. Kelebihan: Sistem ini menunjukkan kinerja yang berhasil lebih dari 95% dengan <i>set point</i> 20 tetes dalam waktu 60 detik. Kekurangan: Penelitian ini masih memerlukan pengembangan mengenai peletakan <i>optocoupler</i> agar lebih presisi, sehingga dapat berfungsi secara optimal dalam membaca tetesan infus di berbagai kondisi dan lokasi pengujian.
Sistem Kendali dan Monitoring Infus Berbasis Internet Of Things [14]	Solusi yang diberikan oleh alat ini adalah untuk mendeteksi gelembung dan darah, serta secara otomatis mengatur tetesan infus dengan menggunakan	Hasil: Sistem bisa mengatur jumlah tetesan sesuai dengan kebutuhan dan menghitung volume infus yang tertinggal di tabung. Sistem ini dapat mengenali gelembung

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
	motor servo SG90, sensor <i>photodiode</i> , dan teknologi <i>internet of things</i> yang memanfaatkan protokol MQTT untuk komunikasi serial dan pengiriman data secara <i>real-time</i> .	udara dan darah pada selang infus, dan informasi tersebut ditampilkan di LCD, lalu dikirim ke aplikasi web dan menghentikan aliran cairan infus. Kelebihan: Hasil pengujian sensor yang digunakan sekitar 94.16%. Kekurangan: Sistem ini masih memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi.
Alat Pemantau Volume Infus Menggunakan <i>Load Cell</i> Berbasis Internet Of Things (IoT) [15]	Solusi yang diberikan oleh alat ini adalah mengembangkan sistem pemantauan volume infus berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) dengan menggunakan sensor <i>load cell</i> untuk mendeteksi volume cairan infus. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan sensor <i>optocoupler</i> untuk mengontrol kecepatan tetesan infus. Data dikirim ke firebase dan dapat diakses melalui <i>smartphone</i> atau komputer.	Hasil: Sistem ini mampu memantau volume infus dan jumlah tetes per menit secara <i>real-time</i> . Informasi ditampilkan pada dashboard berbasis web dan dikirim ke <i>smartphone</i> dalam bentuk notifikasi peringatan saat infus hampir habis. Kelebihan: Akurasi pengukuran sensor <i>load cell</i> mencapai 99%, Dapat mengirimkan notifikasi jarak jauh melalui <i>Internet of Things</i> (IoT), Sistem ini mampu mengontrol kecepatan tetesan infus secara otomatis. Kekurangan: Keterbatasan penyimpanan data – Sistem hanya dapat memantau data secara langsung, tetapi tidak

Judul	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		menyimpan <i>histori</i> pemantauan dalam jangka Panjang dan ketergantungan pada koneksi internet – Jika jaringan WiFi terputus, maka sistem tidak dapat mengirim data ke server.

Maka, dari hasil studi literatur di atas keunikan dari alat ini untuk menentukan sensor, parameter yang diukur, dan serial komunikasi yang digunakan lebih efisien dibandingkan penelitian sebelumnya. Dalam pemilihan sensor, penulis menggunakan sensor *load cell* dan *optocoupler*, sedangkan parameter yang diukur yaitu kecepatan aliran infus dan ada atau tidaknya tetesan cairan infus. Dan motor servo untuk aktuator kontroling parameter nilai tetesan cairan yang keluar.

2.2. Dasar Teori

Berdasarkan penjelasan latar belakang serta proses identifikasi masalah *project* yang telah dilakukan, maka teori yang mendasari *project* sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat adalah sebagai berikut:

2.2.1. Infus

Infus, atau yang dikenal sebagai *Intravenous Fluid Drops* (IVFD), adalah perangkat medis yang digunakan untuk menggantikan cairan yang hilang, mengantarkan obat atau vitamin, serta menyeimbangkan kadar elektrolit dalam tubuh manusia [3].

Selain itu, infus diberikan kepada pasien yang mengalami kehilangan nutrisi yang signifikan, karena proses ini memerlukan kontak langsung melalui pembuluh darah dan sterilisasi. Pemasangan infus juga merupakan prosedur di mana jarum atau kanula dimasukkan ke dalam pembuluh darah untuk mentransfer cairan infus ke dalam tubuh [3]. Dapat dilihat pada gambar 2.1 mengenai infus yaitu:



Gambar 2.1 Infus [16]

2.2.2. *Infusion Pump*

Infusion pump adalah alat kesehatan yang sering digunakan oleh tenaga medis untuk mengirimkan cairan infus ke dalam tubuh pasien secara otomatis melalui pembuluh darah. Hal ini bertujuan untuk memastikan dosis yang tepat agar menghindari risiko overdosis. Konsep dari perangkat kesehatan ini adalah penggunaan alarm yang akan diaktifkan dalam situasi-situasi tertentu, seperti ketika terdeteksi udara dalam selang infus atau terjadi gangguan pada aliran infus. Alarm juga akan berbunyi ketika terjadi sumbatan karena adanya perbedaan antara pengaturan titrasi pada perangkat dengan aliran infus yang sebenarnya. Contohnya, ketika perawat memasuki ruangan pasien, alarm dapat berbunyi karena baterai pompa infus hampir habis dan cairan infus telah habis [8].

Infusion pump memiliki beberapa parameter penting untuk mengatur proses infus dengan baik, seperti mengatur kecepatan aliran infus, menghitung jumlah tetesan, serta mendeteksi kondisi darurat yang bisa memicu bunyi alarm, misalnya saat cairan di botol habis, aliran terhambat, udara terperangkap di selang, atau baterai habis [8].

2.2.3. Parameter Yang Digunakan

Parameter yang digunakan pada project sistem monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat ini dapat ditunjukkan pada tabel 2.2 sebagai berikut:

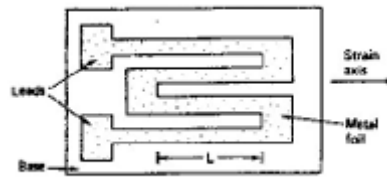
Tabel 2.2 Penjelasan parameter yang akan di monitoring

Parameter	Penjelasan	Indikator
Kecepatan Aliran Infus	Parameter ini menggambarkan seberapa cepat atau lambat cairan infus yang dikeluarkan selaras dengan kondisi pasien.	Biasanya, laju aliran infus adalah sekitar 150 CC/Jam dan 1 ml = 1 CC = 15 tetes.
Kendali Tetesan Infus	Parameter ini menggambarkan sisa dari cairan infus yang ada.	1 tabung cairan infus memiliki berat 500ml
Kendali Tetesan Infus	Mengontrol aliran tetesan infus dengan bantuan motor servo, jadi tinggal menginputkan nilai tetesan dari perangkat IOT	Mengendalikan tetesan dengan membaca sensor <i>optocoupler</i> dan akan otomatis menggerakkan servo sampai set point yang telah ditentukan.

2.2.4. Sensor Load Cell HX711

Load cell HX 711 merupakan suatu sensor yang mampu mengukur berbagai jenis tekanan yang diterima. Idea dari sensor ini yaitu mengkonversi kekuatan dari tekanan, ketegangan, berat dan lain-lain yang diterima menjadi bentuk tahanan elektrik yang dapat diukur [12]. Sebuah alat pengukur tekanan mekanis yang mencakup *load cell* memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan gaya mekanik. Sensor ini terdiri dari lapisan foil logam yang tipis yang diolah menjadi benang-benang yang halus, kemudian dilapisi plastik [12].

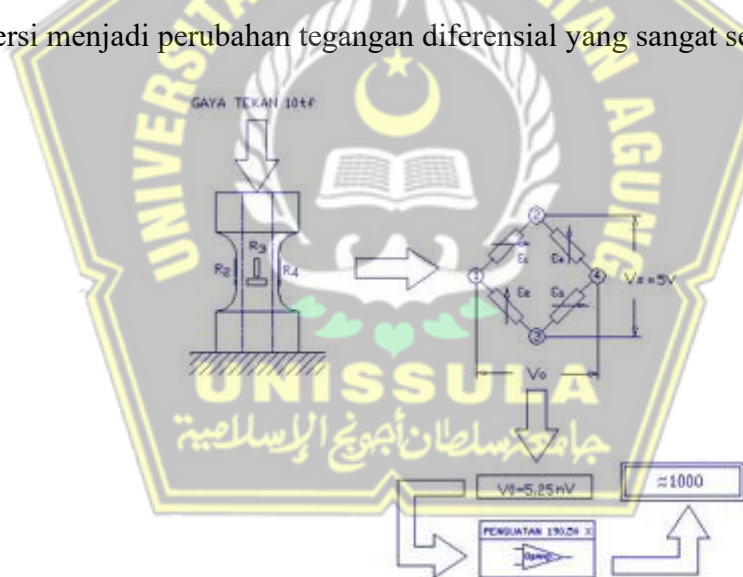
Load Cell memiliki Elemen elastis (*Body Load Cell*) terbuat dari aluminium atau baja. Berfungsi sebagai media tempat beban diberikan, dan mengalami deformasi yang terukur. Komponen inti berupa *Strain Gauge* yaitu sensor resistif tipis yang terbuat dari bahan metal tipis (foil) yang diletakkan diatas kertas.



Gambar 2. 2 Strain Gauge

Strain Gauge dalam operasinya memanfaatkan perubahan resistansi. Sehingga dapat digunakan untuk mengukur perpindahan yang Sangat kecil akibat pembengkokan (tensile stress) atau peregangan (tensile strain). Nilai resistansinya berubah sebanding dengan regangan (strain) yang terjadi.

Menggunakan rangkaian jembatan untuk pembacaan, kalibrasi dan kompensasi temperatur. Terdiri dari 4 strain gauge (atau kombinasi strain gauge dan resistor tetap). Konfigurasi bridge membuat perubahan resistansi kecil bisa dikonversi menjadi perubahan tegangan diferensial yang sangat sensitif.



Gambar 2. 3 Rangkaian Resistor Jembatan

Modul HX711 berfungsi sebagai Penguat sinyal (Amplifier) memperkuat sinyal dari milivolt menjadi lebih besar agar bisa dibaca mikrokontroler. Fungsi lainnya adalah ADC (Analog to Digital Converter) 24-bit → mengubah sinyal analog yang diperkuat menjadi data digital dengan resolusi tinggi.



Gambar 2. 4 Modul HX711

Sensor *load cell* ini membutuhkan penguat tambahan agar sinyal dari sensor dapat dikondisikan ke tegangan antara 0 - 5 volt. Hal ini berguna untuk memungkinkan mikrokontroler membaca data dengan mudah dan melancarkan proses pengolahan informasi [6].



Gambar 2.5 Load Cell HX711 [17]

2.2.5. Sensor *Infrared*

Sensor *infrared* adalah sensor yang memanfaatkan sinar atau gelombang elektromagnetik dengan frekuensi rendah. Sensor ini sering digunakan untuk mengukur jarak atau mendeteksi benda yang bergerak di depannya [12]. Salah satu manfaatnya adalah untuk mendeteksi tetesan infus dengan kemampuannya dalam mengidentifikasi keberadaan suatu objek. Apabila suatu objek berada di depan atau melewati objek tersebut, sensor akan mendeteksinya dengan status '1' atau 'high', menunjukkan adanya objek di sekitarnya. Sementara ketika tidak ada objek, sensor akan mengeluarkan output berupa nilai '0' atau 'low', menandakan bahwa tidak ada objek yang terdeteksi [12]. Dimana fungsinya untuk membaca nilai tetesan infus yang berada pada tabung tetesan infus.



Gambar 2.6 Sensor *Infrared* [18].

2.2.6. Sensor *Optocoupler*

Sensor *optocoupler* adalah komponen elektronik yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu LED inframerah (sebagai pemancar) dan phototransistor (sebagai penerima). Ketika LED inframerah menyala, cahaya inframerah yang dipancarkan akan diterima oleh phototransistor, menyebabkan arus mengalir dan mengaktifkan *output*. Fungsi lainnya adalah sebagai sensor untuk mendeteksi keberadaan suatu objek yang menghalangi cahaya *infrared*.



Gambar 2.7 Sensor *Optocoupler*

2.2.7. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah perangkat elektronik berbentuk komponen IC (*Integrated Circuit*) yang bertugas menerima sinyal *input*, lalu menghasilkan *output* sesuai dengan petunjuk program yang telah diatur [3]. Sinyal *input* yang diterima oleh mikrokontroler berasal dari komponen-komponen perangkat yang bertugas mengumpulkan data sebelum diolah dan disajikan kepada pengguna.

Berbagai jenis mikrokontroler populer yang biasanya sering digunakan adalah ESP32, ESP8266, ATMEGA, Arduino Uno, serta Arduino Nano. Dalam project ini, hasilnya adalah penggunaan mikrokontroler ESP32 untuk monitoring

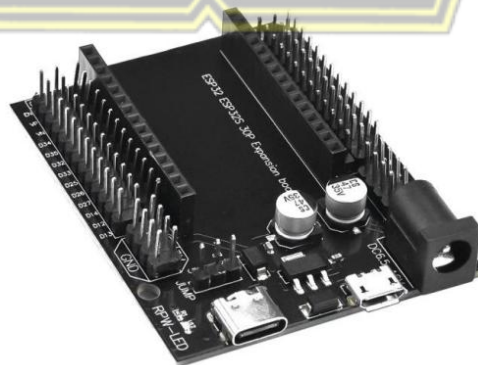
dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat yang dapat dipantau dari jarak jauh [19].



Gambar 2.8 Mikrokontroler ESP32 [20].

2.2.8. *Expansion Board*

Expansion board adalah modul tambahan yang dirancang untuk memperluas kemampuan mikrokontroler utama, seperti Arduino, ESP32, atau jenis lainnya. *Expansion board* menyediakan beragam fitur tambahan yang tidak tersedia pada board utama, sehingga memudahkan user dalam menghubungkan berbagai sensor, aktuator, display, modul wireless, dan komponen lain secara praktis dan terorganisir. Dengan menggunakan *expansion board*, proses pembuatan prototipe, pengujian, hingga instalasi sistem elektronik menjadi lebih cepat, rapi, dan terhindar dari kesalahan koneksi.



Gambar 2.9 ESP32 *Expansion Board* [21].

Penggunaan ESP32 expansion ini dapat mengurangi penggunaan kabel jumper dalam rangkaian, bertujuan agar rangkaian terlihat lebih sederhana, ringkas dan fleksibel. Selain itu, penggunaan expansion untuk memperbanyak PIN yang dapat digunakan agar tidak menambah ESP32 lain. Dalam penelitian sendiri biasanya memerlukan banyak penggunaan *input/output*, penggunaan ESP32 expansion memungkinkan dalam hal jumlah PIN yang dapat digunakan dalam berbagai fungsi. Dengan lebih banyak pilihan pin input dan juga output yang tersedia, pengguna dapat menghubungkan berbagai perangkat tambahan seperti sensor, aktuator, dan komponen lain yang akan dibutuhkan dalam proyek tanpa kehabisan pin ESP32 atau bahkan menghindari penambahan penggunaan ESP32 itu sendiri. Oleh karena itu, expansion ini sangat berguna apabila digunakan dalam proyek yang membutuhkan banyak *input/output* atau aplikasi yang melibatkan integrasi berbagai perangkat IoT (*Internet of Things*).

2.2.9. Motor Servo

Motor servo merupakan motor DC yang dilengkapi dengan komponen tambahan berupa rangkaian kendali elektronik yang bertugas mengatur gerakan, sudut rotasi, dan dilengkapi dengan susunan gigi internal untuk meningkatkan daya putar motor. Komponen-komponen yang terdapat pada motor servo meliputi internal gear, potensiometer, dan rangkaian feedback control. Motor servo berputar perlahan namun memiliki daya putar yang tinggi karena adanya struktur gigi internal yang mampu meningkatkan daya putar motor servo. Motor servo diatur dengan menggunakan sinyal pulsa yang memiliki durasi sekitar 20 ms, dengan rentang lebar pulsa antara 0,5 ms hingga 2 ms [14]. Pengaturan disesuaikan dengan lebar sinyal pulsa yang dikendalikan oleh Arduino untuk motor servo. Dimana fungsi dari motor servo untuk kendali parameter nilai tetesan cairan infus.



Gambar 2.10 Motor Servo SG90 [22].

2.2.10. Motor Linier

Motor linier adalah jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi gerakan linier (lurus). Ini berbeda dengan motor DC atau servo yang menghasilkan gerakan rotasi. Jadi motor linier bergerak maju mundur saja.



Gambar 2.11 Motor Linier [23].

2.2.11. Baterai Lithium

Baterai lithium-ion termasuk dalam kategori baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan bersifat ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya yang terdapat pada baterai Ni-Cd dan Ni-MH [24]. Baterai ini memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan jenis baterai lainnya karena menyimpan energi dengan stabil, memiliki energi yang padat, tidak mengalami efek memori, dan juga lebih ringan secara relatif. Karena itu, baterai lithium mampu menghasilkan energi dua kali lipat dibandingkan dengan baterai jenis lain,

meskipun memiliki berat yang sama [24]. Dimana fungsi dari baterai lithium adalah untuk membuat alat ini berjalan secara mobile dan untuk sumber energi listrik saat listrik pln off.



Gambar 2.12 Baterai Lithium [25].

2.2.12. *Battery Management System*

Battery Management System (BMS) adalah sistem elektronik yang mengawasi dan mengelola kinerja baterai isi ulang, baik berupa sel tunggal maupun paket baterai. Fungsi utama BMS meliputi pemantauan tegangan, arus, dan suhu setiap sel baterai untuk memastikan operasi dalam batas aman, serta mencegah kondisi berbahaya seperti *overcharge*, *overdischarge*, dan *overheating*. BMS juga melakukan penyeimbangan sel dengan mendistribusikan ulang muatan agar setiap sel memiliki tingkat pengisian yang seragam, sehingga memperpanjang umur baterai dan mengoptimalkan performanya. Selain itu, BMS menghitung estimasi *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) baterai, serta menyediakan data dan peringatan melalui sistem komunikasi untuk mendukung diagnosa dan pengendalian lebih lanjut. Dengan demikian, BMS berperan penting dalam menjaga keamanan, efisiensi, dan daya tahan baterai



Gambar 2.13 *Battery Management System (BMS)*

2.2.13. Keypad 4*4

Keypad 4*4 adalah jenis tombol yang sering digunakan pada sistem perangkat input elektronik yang terdiri dari 16 tombol yang tersusun dalam bentuk matrik 4 baris dan 4 kolom dimana tombol ini diberi label angka (0-9) dan huruf (A-D) dan tombol * dan #. Sehingga memudahkan untuk memberikan tombol angka dan navigasi tombol menu.



Gambar 2.14 Keypad 4*4

2.2.14. Display layar OLED

Display layar OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) adalah jenis layar canggih yang sering digunakan karena memberikan tampilan yang tajam dan jernih serta memberikan efisiensi daya yang relatif kecil sehingga dapat digunakan untuk project yang memerlukan tampilan *interface* yang menarik dan jernih.



Gambar 2.15 Layar Oled

2.2.15. *Internet Of Things*

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang memungkinkan menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan aktuator. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga mesin bisa bekerja sama dan bahkan bertindak sendiri berdasarkan informasi baru yang diperoleh [26]. Secara umum, protokol TCP/IP sering digunakan untuk keperluan komunikasi dan berbagi data. Agar informasi dapat disampaikan dengan lebih baik kepada manusia, data yang dikirimkan perlu diproses ulang untuk mempermudah pemahaman. Agar penyimpanan dan pertukaran informasi bisa dilakukan dengan lebih mudah, teknologi *semantic* menjadi hal yang diperlukan. Hingga akhirnya terbentuklah *Internet of Things* yang terdiri dari tiga komponen utama, yakni *Internet*, *Things*, dan *Semantic* [14]. Selain dari itu, IoT juga diciptakan untuk memperluas jaringan koneksi yang terhubung terus menerus. IoT juga merujuk pada obyek untuk mengidentifikasi dalam representasi virtual atau server dalam struktur berbasis internet.

Dalam sektor kesehatan, IoT memiliki peran penting dalam membantu pengumpulan data dan pemantauan berbagai aspek kesehatan, seperti riwayat penyakit, tekanan darah, pemantauan detak jantung, hingga pemantauan infus pasien. Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis mengimplementasikan teknologi *Internet of Things* berupa komunikasi serial WiFi untuk memonitor cairan

infus serta mengirim data melalui sensor guna membantu para tenaga medis. IoT yang digunakan adalah bantuan aplikasi *Blynk* yang *open source*.

2.2.16. *Blynk*

Sebagai sebuah platform yang berfokus pada *Internet of Things*, *Blynk* memfasilitasi pengguna untuk monitoring dan kendali perangkat elektronik dari jarak jauh dan secara *realtime*. Kendali penuh ini dapat diakses melalui aplikasi *smartphone* maupun web. *Blynk* menyediakan sebuah dashboard visual yang ramah pengguna, yang berfungsi untuk menjembatani komunikasi antara pengguna dengan perangkat IoT berbasis mikrokontroler. Dengan demikian, proses untuk menghubungkan perangkat keras seperti Arduino, ESP8266, dan ESP32 menjadi jauh lebih mudah dan ringkas [27].



Gambar 2.16 Logo *Blynk*

Platform *Blynk* sendiri terdiri dari tiga komponen utama:

- Aplikasi *Blynk* untuk membuat dan mengatur tampilan monitoring di *smartphone* atau tablet.
- Server *Blynk* yang mengelola komunikasi antara aplikasi dan perangkat.
- Library *Blynk* yang diintegrasikan ke perangkat keras (ESP32, Arduino, dll) agar dapat berkomunikasi dengan server *Blynk*.

Sistem komunikasi *Blynk* menggunakan protokol berbasis internet untuk menghubungkan perangkat keras dengan server dan aplikasi. Pada *Blynk* versi lama, komunikasi dilakukan melalui protokol TCP/IP di mana perangkat keras seperti ESP32 membuka koneksi socket ke server *Blynk Cloud* (biasanya menggunakan port 8080). Semua data sensor dan perintah kendali dikirimkan

dalam bentuk paket data sesuai format *Blynk* Protocol, yang terdiri dari *header* dan *payload*.

Sedangkan pada *Blynk* 2.0, sistem komunikasi lebih modern dengan memanfaatkan protokol HTTPS (port 443) untuk autentikasi dan pengiriman data yang aman, serta MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) sebagai protokol komunikasi utama yang lebih ringan dan efisien untuk kebutuhan IoT. MQTT bekerja dengan konsep publish-subscribe, di mana perangkat keras dapat mengirimkan data (*publish*) ke server dan menerima perintah (*subscribe*) dari aplikasi. Selain itu, semua komunikasi di *Blynk* 2.0 sudah dilengkapi dengan TLS/SSL *encryption* untuk menjamin keamanan data.

2.2.17. Telegram

Selain *Blynk*, aplikasi Telegram juga dapat digunakan sebagai platform monitoring dan notifikasi pada prototipe ini. Telegram dipilih karena menyediakan fitur notifikasi real-time yang praktis, mudah diterapkan, dan tidak memerlukan antarmuka khusus seperti pada *Blynk*.

Dalam praktiknya, bot Telegram digunakan untuk menjembatani komunikasi antara ESP32 dengan user. Bot telegram secara otomatis mengolah data yang diterima dari sensor. Sebagai contoh, jika sisa infus pasien mencapai level kritis, ESP32 akan memicu bot untuk mengirimkan notifikasi yang diterima langsung oleh perawat melalui aplikasi Telegram di *smartphone*.



Gambar 2.17 Logo Aplikasi Telegram

Sistem komunikasi Telegram dalam IoT menggunakan protokol HTTP/HTTPS dengan metode *RESTful API*. Perangkat IoT bertindak sebagai client yang mengakses Telegram API melalui internet untuk mengirim atau menerima data. Saat perangkat mengirim data ke pengguna, ia menggunakan endpoint API seperti *sendMessage* untuk mengirimkan pesan teks, atau *sendPhoto* untuk mengirimkan gambar. Sebaliknya, saat pengguna mengirimkan perintah ke bot, perangkat IoT dapat mengambil perintah tersebut dengan dua cara, yaitu menggunakan metode *getUpdates (long polling)* atau *Webhook*. Pada metode polling, perangkat secara berkala meminta data dari server Telegram, sedangkan pada metode *webhook*, server Telegram langsung mengirim data perintah ke alamat server pengguna jika ada pesan baru.

Semua komunikasi antara perangkat IoT dan server Telegram dienkripsi dengan TLS/SSL melalui protokol HTTPS (port 443), sehingga data aman dari penyadapan. Dengan arsitektur ini, Telegram memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan perangkat IoT secara jarak jauh dengan cepat dan aman, tanpa harus membuat aplikasi khusus.

2.2.18. Protokol Komunikasi TCP/IP

TCP (*Transmission Control Protocol*) / IP (*Internet Protocol*) merupakan standar komunikasi data yang menjadi tulang punggung jaringan internet dan sistem komunikasi modern baik pada jaringan internet skala global maupun pada *Internet of Things*. Protokol ini memiliki beberapa *layer* (lapisan) yang masing-masing mempunyai peran tertentu dalam proses pengiriman data antar perangkat [28]. Dalam sistem monitoring dan kendali infus pasien, TCP/IP menjamin bahwa informasi dari sensor (*load cell*, *optocoupler*), aktuator (*servo*), serta antarmuka (OLED, keypad) yang terhubung ke ESP32 dapat dikirim dengan aman ke ruang sentral perawat melalui aplikasi *Blynk*.

Secara umum, protokol TCP/IP terdiri dari empat lapisan utama: *Application Layer*, *Transport Layer*, *Internet Layer*, dan *Network Access Layer*.

- a. *Application Layer*: Mengatur komunikasi aplikasi pengguna, misalnya HTTP, FTP, dan SMTP.

- b. *Transport Layer*: Bertanggung jawab untuk memastikan data yang dikirim dan diterima bisa sampai secara utuh (TCP untuk koneksi yang andal, UDP untuk komunikasi cepat tanpa jaminan keandalan).
- c. *Internet Layer*: Bertugas mengatur alamat logika (*IP address*) dan pengiriman data antar jaringan melalui IP.
- d. *Network Access Layer*: Mengatur pengiriman data ke perangkat tujuan menggunakan media fisik, seperti kabel atau gelombang radio.

Pada TCP/IP, setiap lapisan hanya bertanggung jawab pada tugas tertentu tanpa perlu mengetahui cara kerja lapisan lain sehingga lebih fleksibel dan mudah diterapkan pada berbagai jenis perangkat.

Dari penelitian yang dilakukan Rudy Adipranata dari Universitas Kristen Petra menunjukkan bahwa fungsi kendali jarak jauh yang menggunakan TCP/IP berfungsi dengan baik, meskipun ada *delay* yang disebabkan oleh kondisi jaringan (berkisar antara kurang dari 1-5 detik) [29].

Untuk sistem Monitoring dan Kendali Infus Pasien dari Ruang Sentral Perawat, semua perangkat terhubung melalui jaringan WiFi yang secara fundamental menggunakan protokol TCP/IP sebagai fondasi komunikasi data. Berikut penjelasan bagaimana protokol komunikasi terjadi pada sistem:

- a. ESP32 sudah memiliki stack TCP/IP terintegrasi, sehingga bisa langsung terhubung ke jaringan WiFi dan internet tanpa perlu tambahan modul *eksternal*.
- b. Data sensor dari *load cell*, *optocoupler*, dan *input* keypad dikumpulkan oleh ESP32.
- c. ESP32 kemudian mengirim data tersebut ke server *cloud Blynk* melalui jaringan WiFi, dengan memanfaatkan protokol *HTTP/HTTPS* yang berjalan di atas TCP/IP.
- d. Aplikasi *Blynk* di *smartphone* atau komputer perawat menerima data secara *real-time* dan bisa mengirim perintah kendali (misalnya menutup servo via *Blynk*) kembali ke ESP32.

- e. Komunikasi dua arah ini terjadi secara *realtime* dan handal karena menggunakan TCP (*Transmission Control Protocol*), yang menjamin data sampai utuh,urut, dan terkendali.

2.3. Analisis Stakeholder

Dalam *project* ini, alat akan dipergunakan oleh tenaga medis seperti perawat guna memantau cairan infus pasien. Hal ini dilakukan dengan memberikan notifikasi peringatan sesuai dengan parameter yang ditentukan oleh penulis melalui komputer di ruang perawat, serta *buzzer* di ruang pasien yang terhubung dengan alat tersebut. Pada komputer yang terhubung ke web server, akan ditampilkan parameter jumlah sisa cairan infus, kecepatan aliran infus, serta keberadaan tetesan cairan infus. Hal ini bertujuan untuk membantu perawat dalam memantau kondisi pasien dengan lebih efektif. Berikut adalah penjelasan tentang keterkaitan dengan *stakeholder* yang tercantum dalam Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Analisis Stakeholder

Stakeholder	Interest	Power	Engagement Level		Engagement Strategy
			Current	Desired	
Pemerintah (Kemenkes)	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>Leading</i>	<i>Leading</i>	Memberikan persetujuan atas penggunaan produk yang diajukan oleh tim <i>capstone design</i> .
Dokter	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Neutral</i>	<i>Neutral</i>	Membantu dalam menyediakan informasi terkait infus di rumah sakit serta parameter yang diukur pada infus.
Perawat	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Leading</i>	<i>Leading</i>	a. Membantu dalam proses pengambilan data project. b. Memberikan <i>feedback</i> mengenai validasi teknis alat. c. Memberikan <i>feedback</i> berdasarkan pengalaman penggunaan alat.

Stakeholder	Interest	Power	Engagement Level		Engagement Strategy
			Current	Desired	
Pasien	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>Leading</i>	<i>Leading</i>	a. Membantu dalam pengumpulan data untuk project. b. Media atau participant dalam pengujian produk yang diajukan oleh tim <i>capstone design</i> .
Teknisi Alat Kesehatan	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Leading</i>	<i>Leading</i>	a. Membantu dalam pengumpulan data untuk project. b. Memberikan <i>feedback</i> mengenai validasi teknisi alat c. Memberikan <i>feedback</i> berdasarkan pengalaman penggunaan alat.

2.4. Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

Dalam pengembangan sistem monitoring dan kendali infus pasien, terdapat beberapa aspek yang mempengaruhi efektivitas dan implementasi sistem tersebut. Aspek-aspek ini meliputi bidang ekonomi, industri kesehatan, dan sosial. Masing-masing aspek memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keberhasilan sistem monitoring infus.

2.4.1. Bidang Ekonomi

Aspek ekonomi memainkan peran penting dalam pengembangan sistem monitoring dan kendali infus. Biaya pengadaan alat dan teknologi yang terjangkau menjadi salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan implementasi sistem ini di berbagai fasilitas kesehatan. Alat monitoring dan kendali infus dirancang agar dapat diakses oleh rumah sakit dengan anggaran terbatas, sehingga sangat dianjurkan menggunakan sensor yang tepat dan murah, hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat tersebut dapat digunakan secara luas tanpa membebani biaya operasional rumah sakit secara signifikan [5]. Selain itu, efisiensi biaya dalam

pemeliharaan dan operasional alat juga menjadi pertimbangan penting, dimana alat yang dapat berfungsi dengan baik dalam jangka waktu lama akan mengurangi pengeluaran rumah sakit untuk perawatan dan penggantian alat [3].

2.4.2. Bidang Industri Kesehatan

Industri kesehatan merupakan sektor yang sangat dinamis dan terus berkembang dengan kemajuan teknologi. Dalam sistem monitoring infus, penggunaan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan cairan infus secara *real-time* dari jarak jauh. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja perawat tetapi juga meningkatkan keselamatan pasien dengan mengurangi risiko kesalahan manusia dalam pemantauan infus [30]. Dengan adanya sistem ini, perawat akan menerima notifikasi otomatis ketika terjadi masalah, seperti gangguan aliran infus atau sisa cairan yang hampir habis. Hal ini memungkinkan perawat untuk mengambil tindakan cepat guna mencegah terjadinya komplikasi lebih lanjut. Pengembangan alat-alat medis yang inovatif juga berkontribusi pada peningkatan kualitas pelayanan kesehatan secara keseluruhan.

2.4.3. Bidang Sosial

Aspek sosial juga mempengaruhi penerimaan dan penggunaan sistem monitoring dan kendali infus di kalangan tenaga medis dan pasien. Tingkat pemahaman dan keterampilan tenaga medis dalam menggunakan teknologi baru sangat penting untuk keberhasilan implementasi sistem ini. Pelatihan yang memadai harus diberikan kepada tenaga medis agar dapat menggunakan alat dengan efektif dan efisien.

2.5. Spesifikasi Sistem

Berdasarkan kajian literatur, dasar teori, dan informasi yang diperoleh untuk memenuhi kebutuhan pembuatan alat monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat, berikut adalah rincian spesifikasi sistem alat monitoring dan kendali infus pasien tersebut:

1. Sistem monitoring yang dikembangkan akan berbentuk *prototyping* untuk memantau jumlah tetesan infus serta kecepatan infus, dan sisa infus dengan

jumlah 1 sistem di setiap ruang rawat inap dan dilengkapi LCD oled berukuran 3cm x 2cm.

2. Alat monitoring ini harus terpasang pada tiang infus pasien, dan data yang akan ditampilkan meliputi parameter yang diukur dapat dimonitor melalui smartphone atau PC sesuai dengan kode yang ditentukan dalam system melalui web dan aplikasi *Blynk*.
3. Monitoring dapat dilakukan secara *real-time*.
4. Alat ini terdapat baterai lithium dengan kapasitas 5000 mAH.
5. Sistem monitoring ini berkomunikasi menggunakan serial WiFi
6. Mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi digunakan untuk mengolah parameter yang diukur dan mengirimkan data ke aplikasi.
7. Pembacaan parameter pengukuran memanfaatkan sensor *load cell* HX711 dan sensor *optocoupler*.
8. Alat ini dipasang di ruang pasien, sementara sistem monitoring menggunakan komputer dan *smartphone* di ruang perawat, menggunakan transmisi WiFi dan internet.
9. Alat ini dapat dikendali secara langsung melalui IOT atau tampilan display layar oled dengan tombol navigasi menu menggunakan KEYPAD 4*4.

BAB 3. USULAN SOLUSI

Pada rumusan masalah yang telah disajikan di BAB 1, tim *capstone design* memberikan solusi yang sesuai dengan kebutuhan dalam desain rekayasa untuk menjawab permasalahan yang dihadapi. Metode yang digunakan dalam proyek ini adalah *design thinking*, yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 Pendekatan *design thinking* ini bersifat *human-centered*, di mana proses pembuatan alat ini mempertimbangkan kebutuhan standar alat kesehatan serta petugas medis. Berikut adalah penjelasan mengenai usulan solusi pertama, yaitu:



Gambar 3.1 Metode rekayasa sistem rekayasa

Berdasarkan Gambar 3.1, diperlukan suatu metode yang dapat mendukung pembuatan proyek sesuai dengan kebutuhan di bidang kesehatan serta standar keteknikan yang berlaku. Berikut ini adalah metode yang diterapkan dalam pemantauan infus pasien dari ruang perawat pusat:

1. *Empathize*

Pada tahap *empathize* ini, tim *capstone design* memahami secara mendalam kebutuhan dan pengalaman tenaga medis. Dalam tahap ini, tim akan melakukan wawancara dan observasi langsung terhadap perawat yang bertugas di ruang perawatan. Melalui interaksi ini, diharapkan dapat mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam memantau infus pasien serta kebutuhan spesifik yang belum terpenuhi oleh sistem yang ada saat ini.

2. *Define*

Setelah mengumpulkan data dari tahap *empathize*, informasi tersebut akan dianalisis untuk merumuskan masalah inti. Dengan mendefinisikan masalah secara jelas, tim *capstone design* dapat fokus pada solusi yang dibutuhkan.

3. *Ideate*

Pada tahap ideate ini, tim *capstone design* memberikan solusi untuk mengatasi permasalahan infus pasien. Dimana tim *capstone design* mengumpulkan, mengusulkan, dan memberikan solusi ide-ide untuk memantau infus pasien dari ruang sentral perawat, dengan merancang spesifikasi sistem yang lebih efisien dan inovatif dibandingkan dengan teknologi yang ada sebelumnya.

3. *Prototype*

Setelah memilih ide-ide terbaik dari tahap ideate, tim akan membuat alat dari ide yang telah diusulkan. Dimana prototype ini berupa model fisik, software, 3D *design*, dan visual. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memberikan gambaran nyata tentang solusi yang diusulkan sehingga pengguna dapat melihat dan merasakan fungsionalitasnya.

4. *Test*

Pada metode test ini, *prototype* akan diuji dengan pengguna seperti tenaga medis dan pasien untuk mendapatkan *feedback*. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk memperbaiki dan menyempurnakan solusi sebelum implementasi akhir.

5. *Implement*

Dalam metode implementasi ini, tim *capstone design* akan menerapkan alat yang sudah disempurnakan kepada tenaga medis, seperti perawat, serta pasien yang memerlukan solusi ini untuk mempermudah pekerjaan.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan keselamatan sistem pada usulan satu dan dua, sistem monitoring dan kendali infus yang dirancang harus memenuhi standar keselamatan kerja (K3) serta standar keteknikan. Penggunaan teknologi modern dalam sistem ini tidak hanya bertujuan untuk memudahkan perawat dalam melakukan pemantauan, tetapi juga untuk memastikan bahwa setiap aspek dari alat tersebut aman dan dapat diandalkan.

Pertama-tama, penting untuk memastikan bahwa semua komponen alat yang digunakan dalam sistem monitoring infus memenuhi standar K3. Hal ini mencakup prosedur penggunaan alat, penggunaan material yang tidak berbahaya bagi pasien,

serta dilindungi dengan desain 3D untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja bagi tenaga medis. Misalnya, semua kabel dan konektor harus dilindungi dengan baik untuk menghindari risiko tersandung atau kerusakan yang dapat mengganggu fungsi alat atau alat bisa menggunakan sedikit kabel. Selain itu, sistem harus dilengkapi dengan alarm atau indikator visual yang jelas untuk memberi tahu perawat jika terjadi masalah, seperti kehabisan cairan infus atau penyumbatan.

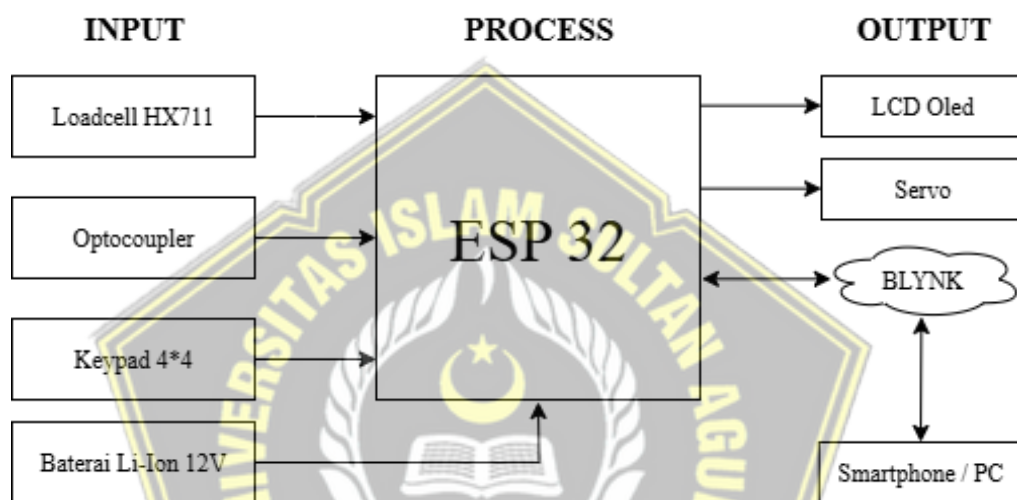
3.1. Usulan Solusi 1

Pada usulan solusi satu untuk sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat mencakup pengukuran beberapa parameter yang dimonitoring, yaitu kecepatan aliran infus, sisa cairan infus, kendali tetesan jarak jauh dan keberadaan tetesan cairan infus dengan pemanfaatan *Internet Of Things* (IoT) yang akan ditampilkan dilayar *smartphone* dan komputer perawat. Dimana usulan solusi 1 alat ini dapat di setting pengaturan berapa banyak tetesan infus yang keluar baik secara langsung atau di setting dari jauh menggunakan aplikasi IoT. Jadi perawat hanya menginputkan nilai angka tetesan yang mau digunakan dengan menekan tombol secara langsung atau menekan nilai di layar *smartphone* atau komputer pada ruang sentral perawat alat ini akan dapat mengatur dengan sendiri sesuai nilai inputan tetesan yang sudah diatur oleh perawat. Dimana alat ini juga dilengkapi notifikasi alarm peringatan jika terjadi gangguan seperti kehabisan baterai, kehabisan cairan infus atau terjadi penyumbatan yang akan dikirim via online ke *smartphone* dan komputer pada ruang sentral perawat.

3.1.1. Desain Sistem 1

Usulan solusi satu untuk sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat dirancang untuk memantau kondisi pasien melalui layar *oled* yang berada diruang pasien atau *smartphone* dan komputer yang berada diruang sentral perawat dengan menggunakan komunikasi serial Wi-Fi. Sistem ini dilengkapi dengan modul sensor, yaitu sensor *load cell* dan sensor *optocoupler*, yang berfungsi untuk mendeteksi beberapa parameter penting, seperti kecepatan aliran infus, kendali kecepatan tetes infus jarak jauh dan keberadaan aliran cairan. sistem ini memiliki tombol keypad 4*4 dan display *oled* yang memungkinkan

perawat untuk mengatur pengaturan secara langsung jika diperlukan, bahkan alat ini dapat dikendalikan jarak jauh dengan hanya menginputkan nilai tetesan, maka alat akan otomatis mengatur sendiri sampai mendapatkan nilai tetesan yang telah diinputkan dengan menggunakan aktuator berupa motor servo. Dengan desain ini, perawat dapat dengan mudah memantau kondisi pasien secara *real-time* dan melakukan intervensi kendali jika diperlukan. Diagram blok usulan desain 1 dapat dilihat pada gambar 3.2:

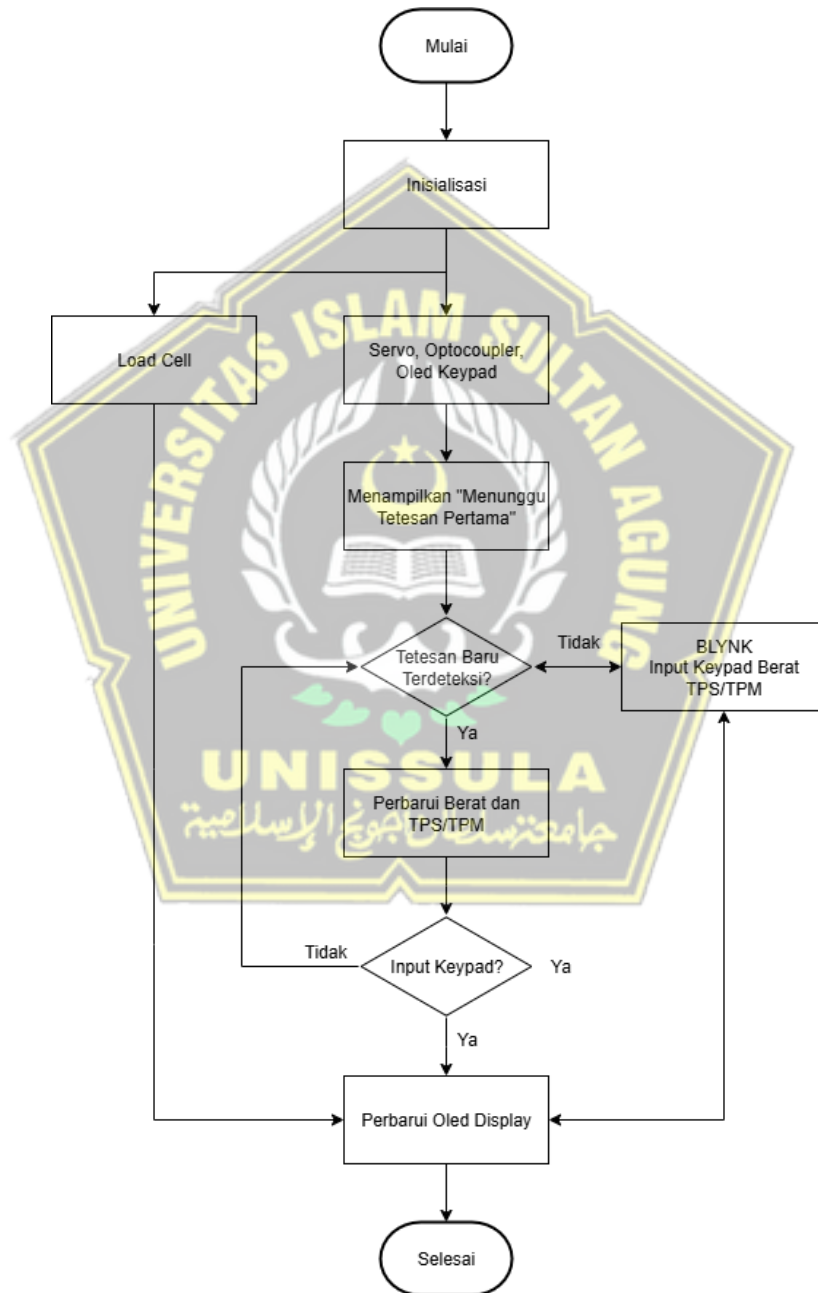


Gambar 3.2 Diagram blok usulan desain 1

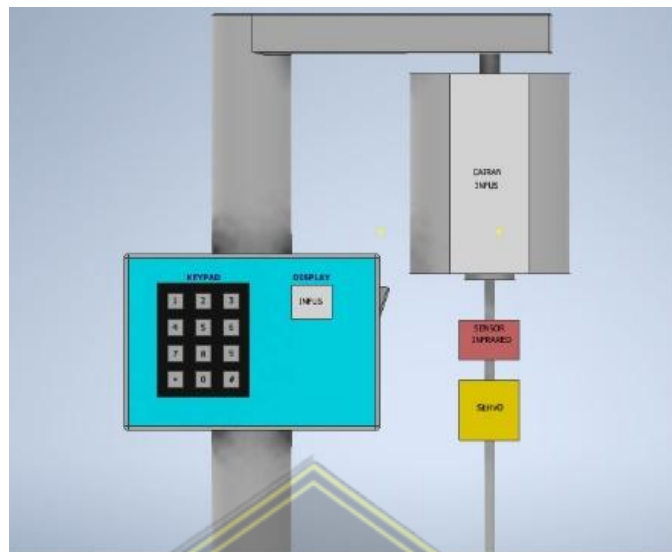
Alat ini memiliki desain yang lebih ramping, desain ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pasien tetapi juga memudahkan perawat dalam melakukan monitoring infus. Dalam hal spesifikasi baterai, menggunakan baterai lithium dengan kapasitas 5000 mAh untuk daya cadangan jika listrik mati dan mobilitas pasien. Baterai jenis ini dipilih karena menawarkan keamanan yang lebih baik dan stabilitas terhadap gangguan ekstrim serta risiko *overcharging*. Dengan kapasitas yang lebih besar, sistem dapat beroperasi lebih lama tanpa perlu sering mengisi ulang daya, sehingga mendukung kelancaran pemantauan infus pasien. Alat ini juga dilengkapi charging 12V untuk mengisi baterai dan sumber langsung listrik PLN yang digunakan alat.

Pada rancangan desain sistem pertama ini, digunakan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) untuk cover alat yang dikenal karena daya tahan dan kemudahan dalam proses pembuatan dengan proses *3D printing*. Sistem ini

dilengkapi dengan tombol *keypad 4*4* dan *switch On/Off* untuk memudahkan pengaturan dan kendali alat. Selain itu, terdapat LCD layar OLED sebagai layar monitoring yang berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran parameter yang diambil, seperti kecepatan aliran infus, sisa cairan, dan status aliran untuk aplikasi yang digunakan IoT adalah *Blynk*.



Gambar 3.3 Flowchart Desain Sistem 1



Gambar 3.4 Desain 3D Sistem 1

Cara kerja sistem monitoring infus pasien dijelaskan pada gambar 3.3. Ketika sistem aktif dan infus terhubung dengan pasien, sensor akan membaca kondisi infus berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu kecepatan aliran, sisa cairan infus, dan keberadaan aliran infus. Data yang diperoleh dari sensor ini akan ditampilkan pada perangkat yang terhubung dengan wifi dengan koneksi internet data yang terbaca digunakan untuk memproses kendali jarak jauh dimana perawat hanya perlu menginputkan nilai kecepatan tetes maka sistem akan bekerja secara otomatis. Sistem ini berbentuk balok dengan ukuran 20 cm x 15 cm x 15 cm dan dipasang pada tiang infus pasien di ruang rawat inap. Dengan desain ini, alat dapat memantau kondisi infus pasien secara efektif dan terhubung dengan perangkat di ruang sentral perawat yang memiliki akses internet, sehingga memudahkan perawat dalam melakukan pemantauan secara *real-time*.

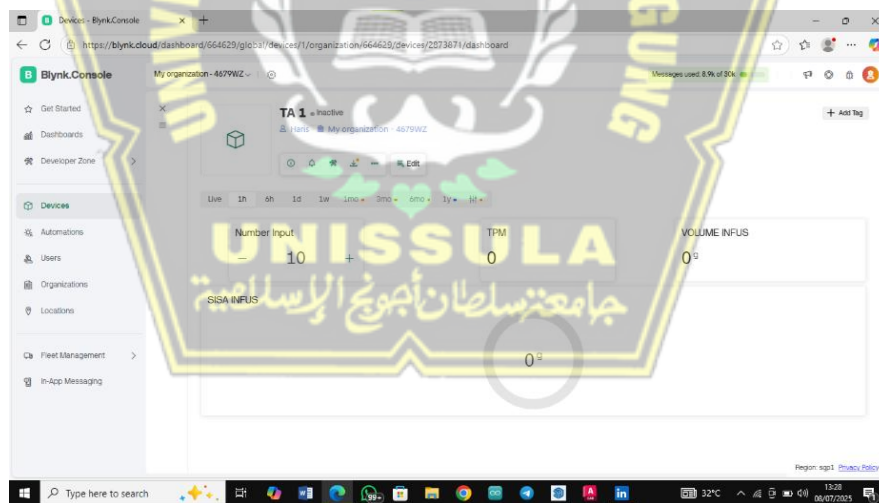
Pada usulan sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat, diperlukan inventarisasi kebutuhan perangkat keras untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik. Tabel 3.1 menunjukkan rincian kebutuhan sistem beserta spesifikasi yang diperlukan.

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan satu sistem perangkat keras sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat

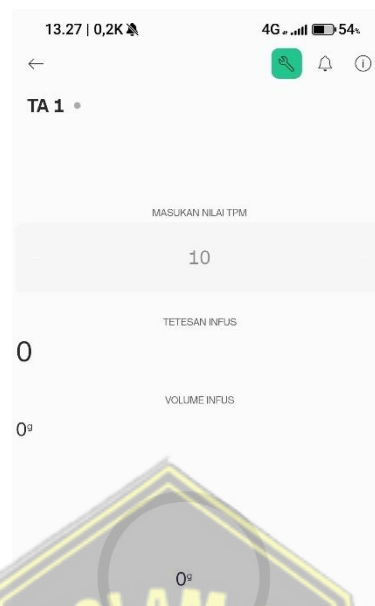
No.	Nama Alat	Keterangan
1	Perangkat kemasan alat	Dibuat untuk melindungi dan menutupi rangkaian alat, perangkat ini terbuat dari bahan ABS yang dicetak menggunakan teknologi 3D.
2	Mikrokontroler ESP32	ESP32 berfungsi sebagai otak kendali dan pembacaan sensor dan mikrokontroler yang menghubungkan modul Wi-Fi dengan komponen sistem lainnya, termasuk sensor. Dengan kemampuan ini, ESP32 memungkinkan pengumpulan data dari sensor dan menampilkan informasi tersebut di LCD serta output perangkat lainnya melalui komunikasi Wi-Fi.
3	Baterai Lithium 12V	Sistem ini menggunakan sumber baterai untuk mempermudah aliran listrik ke sistem supaya mudah dibawa kemanapun oleh pasien atau <i>mobile</i> .
4	Sensor <i>Load Cell</i> HX711	Digunakan untuk mengukur dan mengontrol sisa cairan infus dengan akurasi tinggi yang memiliki tingkat ketelitian hingga 99,8%. Sensor ini juga sudah terintegrasi dengan modul IoT dengan pengiriman data melalui wifi pada mikrokontroler ESP 32.
5	Sensor <i>Optocoupler</i>	Digunakan untuk mendeteksi kecepatan aliran dan jumlah tetesan infus per menit secara <i>real-time</i> .
6	Motor Servo	Digunakan untuk mengatur mekanisme aliran cairan infus dengan cara menjepit selang infus supaya kecepatan aliran infus pada selang bisa diatur.
7	Modul IoT <i>Blynk</i>	Modul komunikasi ke internet menggunakan WiFi dirancang untuk mempermudah pengiriman data. Dan dikombinasi dengan aplikasi <i>Blynk</i> untuk user interface.
8	LCD oled	Menggunakan LCD oled untuk menampilkan hasil monitoring parameter seperti sisa cairan infus, kecepatan aliran, dan status sistem yang diukur melalui ruang sentral perawat.

No.	Nama Alat	Keterangan
9	Keypad 4*4	Menggunakan keypad untuk mempermudah mengatur nilai kecepatan aliran infus secara langsung ke alat.

Dikarenakan sistem ini tidak hanya menggunakan sistem perangkat keras, namun juga perangkat lunak, maka dalam usulan perancangan ini, penulis juga melakukan usulan sistem aplikasi yang digunakan. Aplikasi monitoring dan kendali infus pasien dari ruang perawat ini tentu saja di desain sesuai dengan hasil observasi yang menunjukkan bahwa pada rumah sakit masih kebanyakan memonitoring manual, sehingga memberikan solusi untuk memudahkan tenaga medis dalam memonitoring dan kendali infus pasien menggunakan perangkat smartphone dan komputer yang berada pada ruang sentral perawat agar lebih efisien. Desain aplikasi dibuat compatible dengan web server dan spesifikasi yang rendah maka sehingga digunakan aplikasi *Blynk* yang dapat dilihat pada tampilan seperti Gambar 3.4 dan gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5 Usulan tampilan dashboard rancangan web server *Blynk* komputer



Gambar 3.6 Usulan tampilan dashboard rancangan *Blynk mobile smartphone*

3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan, berikut merupakan rancangan anggaran usulan desain satu yang dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan usulan satu sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Harga total
1	Modul ESP 32	Pcs	Rp. 80.000	2	Rp. 160.000
2	Sensor <i>Optocoupler</i>	Pcs	Rp. 85.000	2	Rp. 170.000
3	Sensor <i>Load Cell</i> HX711	Pcs	Rp. 50.000	2	Rp. 100.000
4	Motor Servo	Pcs	Rp. 100.000	2	Rp. 200.000
5	Adaptor 12 V	Pcs	Rp. 40.000	2	Rp. 80.000
6	PSU <i>step down</i> 12 V- 5 V	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
7	LCD Oled	Pcs	Rp. 35.000	2	Rp. 70.000

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Harga total
8	Keypad 4*4	Pcs	Rp. 75.000	2	Rp. 150.000
9	Baterai Lithium 3 cell	Pcs	Rp. 100.000	2	Rp. 200.000
10	Modul TP4056 Charging Baterai Lithium	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
11	Papan PCB	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
12	Soket Molek	Pcs	Rp. 4.000	4	Rp. 16.000
13	Pin Header	Satuan	Rp. 3.000	4	Rp. 12.000
14	Kabel Jumper	Pcs	Rp. 15.000	3	Rp. 45.000
15	Tabung Infus	Pcs	Rp. 50.000	1	Rp. 50.000
16	Tiang Infus	Pcs	Rp. 50.000	1	Rp. 50.000
17	Desain 3D dan Cetak	Satuan	Rp. 300.000	1	Rp. 300.000
18	Pembuatan Prototipe	Set	Rp. 500.000	1	Rp. 500.000
Total Belanja					Rp. 2.223.000

3.1.3. Analisis Risiko Desain 1

Analisis risiko pada desain satu menunjukkan beberapa kekurangan yang berdampak pada pembuatan sistem pemantauan dan kendali infus pasien di ruang sentral perawatan. Berikut adalah tiga aspek utama yang perlu diperhatikan:

1. Aspek Engineering

Pada aspek resiko engineering yaitu menentukan komponen sensor dan komponen lain yang sesuai dan memiliki nilai akurasi yang baik dikarenakan dimana komponen yang dijual dipasaran sering kali memiliki nilai error yang tinggi yang akan mempengaruhi pembacaan jarak jauh secara *real-time*. Selain itu perlindungan komponen terhadap cipratan air dan debu menjadi salah satu resiko aspek enngenering dimana jika alat ini tidak memiliki desain cover yang baik dan kedap terhadap air maka komponen akan mudah rusak dan akan membahayakan pasien dan perawat.

2. Aspek Ekonomi

Pada aspek ekonomi dalam proses pembuatan dan pengembangan prototipe memerlukan biaya yang cukup mahal dan dimana satu alat ini untuk satu ruangan pasien yang akan menambah anggaran yang cukup besar yang harus dikeluarkan oleh rumah sakit. Resiko lain akan ada penambahan tenaga perawat (teknisi) untuk merawat alat dengan baik dan benar sehingga akan menambah tenaga kerja.

3. Aspek Sosial

Pada aspek sosial resiko yang akan dihadapi adalah ketergantungan terhadap penggunaan internet dan wifi dimana untuk rumah sakit di daerah terpencil belum ada internet yang terpasang secara merata. Resiko lain perawat harus melakukan pelatihan dalam memahami operasional alat ini.

3.1.4. Pengukuran Performa

Sistem monitoring dan kendali infus pasien ini memiliki beberapa parameter pengukuran yang krusial, yaitu keberadaan aliran infus, kecepatan aliran, dan sisa cairan infus, dan kendali yang mudah dan efektif. Parameter-parameter ini sangat penting dalam proses infus untuk meminimalisir risiko kecelakaan yang dapat terjadi pada pasien, seperti penyumbatan atau kehabisan cairan. Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan langsung terhadap keempat parameter tersebut, sehingga memungkinkan perawat untuk mengambil tindakan cepat jika terdeteksi adanya masalah.

Dengan adanya usulan sistem ini, proses pengecekan, kendali, dan monitoring kondisi infus pasien menjadi lebih mudah, cepat dan efisien. Pengukuran performa sistem juga mencakup pengiriman data secara real-time kepada perawat melalui aplikasi dengan menggunakan aplikasi *open source* yaitu *Blynk*.

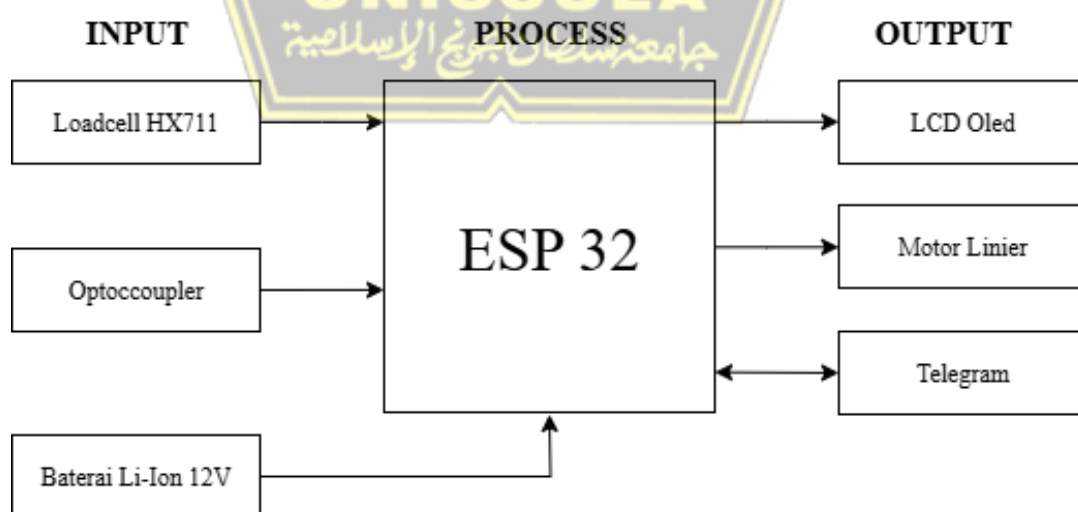
3.2. Usulan Solusi 2

Pada usulan solusi kedua fungsinya sama yaitu untuk sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat mencakup pengukuran beberapa parameter yang dimonitoring, yaitu kecepatan aliran infus, sisa cairan infus, kendali tetesan jarak jauh dan keberadaan tetesan cairan infus dengan pemanfaatan *Internet*

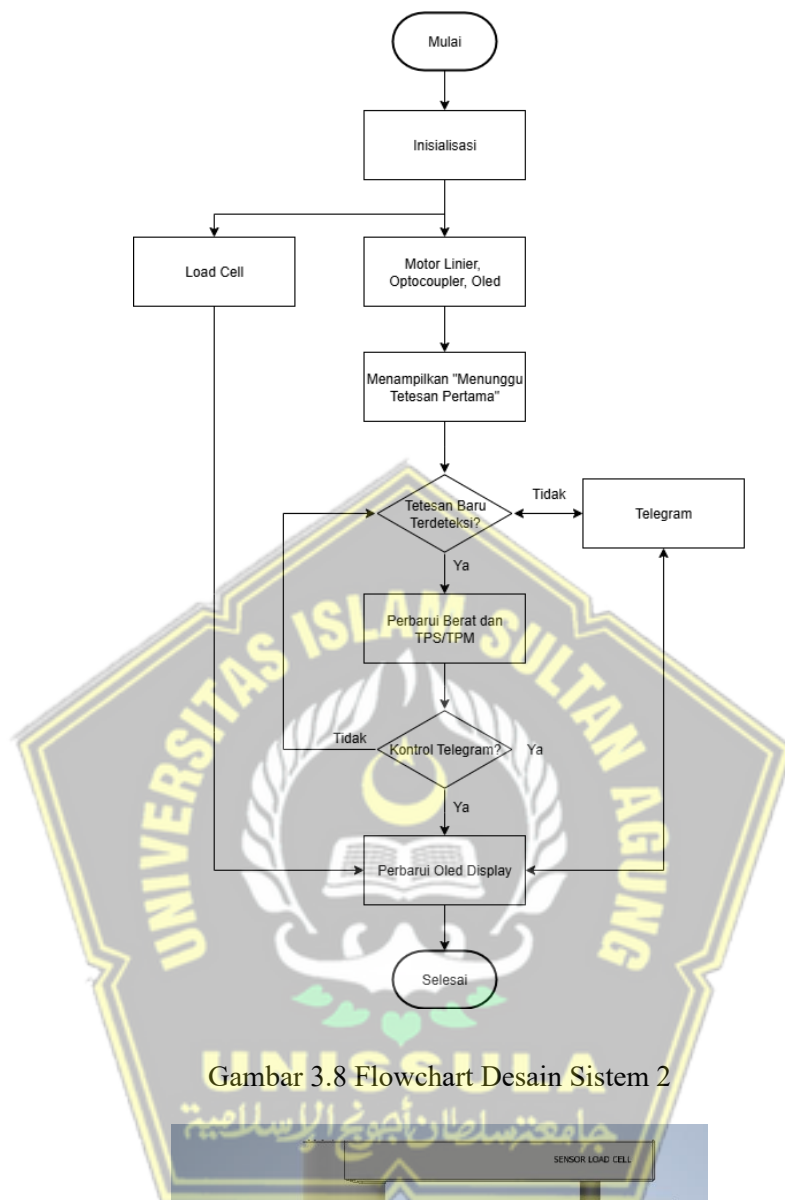
of Things (IoT) yang akan ditampilkan dilayar smartphone dan komputer perawat. Namun perbedaan dari usulan pertama adalah tidak ada tombol navigasi keypad 4*4 jadi semua kendali dan monitoring dilakukan menggunakan sistem jarak jauh menggunakan aplikasi IoT Telegram di smartphone dan komputer yang ada pada ruang sentral perawat. Namun display oled masih ada hanya untuk menampilkan informasi yang dikendalikan dari jarak jauh.

3.2.1. Desain Sistem 2

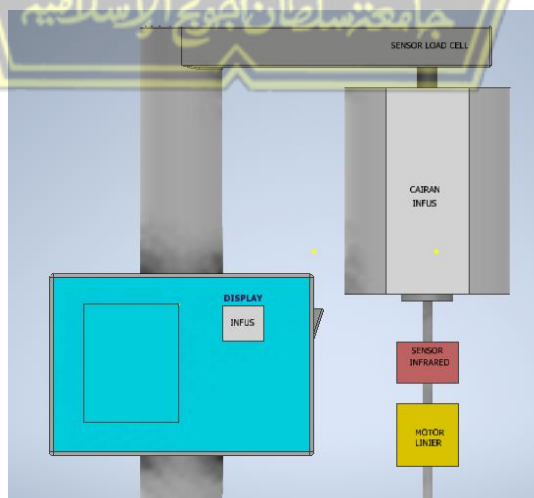
Pada usulan solusi kedua memiliki rancangan yang hampir sama dengan usulan pertama, yang jadi perbedaan hanya pada *interface*. Dimana *interface* untuk usulan kedua menggunakan aplikasi telegram dan untuk pengendali tetesan kecepatan infus menggunakan aktuator jenis motor linier yang nantinya akan menjepit selang infus agar dapat diatur debit tetesannya. Perbedaan yang lain pada usulan kedua tidak menggunakan keypad 4*4 dimana pada alat hanya terdapat tampilan display oled. Kendali tetesan kecepatan infus langsung dilakukan pada smart phone dan komputer pada ruang sentral perawat. Dan monitoring pengukuran sisa cairan infus dan kecepatan tetesnya dilakukan menggunakan smartphone dan komputer yang ada pada ruang sentral perawat. Diagram blok usulan desain 2 dapat dilihat pada gambar 3.7:



Gambar 3.7 Diagram blok usulan 2



Gambar 3.8 Flowchart Desain Sistem 2



Gambar 3.9 Desain 3D Sistem 2

Cara kerja sistem monitoring infus pasien dijelaskan pada gambar 3.7. Ketika sistem aktif dan infus terhubung dengan pasien, sensor akan membaca kondisi infus berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu kecepatan aliran, sisa cairan infus, dan keberadaan aliran infus. Data yang diperoleh dari sensor ini akan ditampilkan pada perangkat yang terhubung dengan wifi dengan koneksi internet data yang terbaca digunakan untuk memproses kendali jarak jauh dimana perawat hanya perlu menginputkan nilai kecepatan tetes maka sistem akan bekerja secara otomatis. Sistem ini berbentuk balok dengan ukuran 20 cm x 15 cm x 15 cm dan dipasang pada tiang infus pasien di ruang rawat inap. Dengan desain ini, alat dapat memantau kondisi infus pasien secara efektif dan terhubung dengan perangkat di ruang sentral perawat yang memiliki akses internet, sehingga memudahkan perawat dalam melakukan pemantauan secara *real-time*.

Pada usulan sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat, diperlukan inventarisasi kebutuhan perangkat keras untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik. Tabel 3.3 menunjukkan rincian kebutuhan sistem beserta spesifikasi yang diperlukan.

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan dua sistem perangkat keras sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat

No.	Nama Alat	Keterangan
1	Perangkat kemasan alat	Dibuat untuk melindungi dan menutupi rangkaian alat, perangkat ini terbuat dari bahan ABS yang dicetak menggunakan teknologi 3D.
2	Mikrokontroler ESP32	ESP32 berfungsi sebagai otak kendali dan pembacaan sensor dan mikrokontroler yang menghubungkan modul Wi-Fi dengan komponen sistem lainnya, termasuk sensor. Dengan kemampuan ini, ESP32 memungkinkan pengumpulan data dari sensor dan menampilkan informasi tersebut di LCD serta output lainnya melalui komunikasi Wi-Fi.
3	Baterai Lithium 12V	Sistem ini menggunakan sumber tegangan DC untuk mempermudah aliran listrik ke sistem supaya mudah dibawa kemanapun oleh pasien atau <i>mobile</i> .

No.	Nama Alat	Keterangan
4	Sensor <i>Load Cell</i>	Digunakan untuk mengukur dan mengontrol sisa cairan infus dengan akurasi tinggi yang memiliki tingkat ketelitian hingga 99,8%. Sensor ini juga sudah terintegrasi dengan modul IoT dengan pengiriman data melalui wifi pada mikrokontroler ESP 32.
5	Sensor <i>Optocoupler</i>	Digunakan untuk mendeteksi kecepatan aliran dan jumlah tetesan infus per menit secara <i>real-time</i> .
6	Motor Linier	Digunakan untuk mengatur mekanisme aliran cairan infus dengan cara menjepit selang infus supaya kecepatan aliran infus pada selang bisa diatur.
7	Modul IoT	Modul komunikasi ke internet menggunakan WiFi dirancang untuk mempermudah pengiriman data. Dan dikombinasi dengan aplikasi Telegram untuk user interface.
8	LCD oled	Menggunakan LCD oled untuk menampilkan hasil monitoring parameter seperti sisa cairan infus, kecepatan aliran, dan status sistem yang diukur melalui ruang sentral perawat.

3.2.2. Rancangan Anggaran Desain 2

Berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan, berikut merupakan rancangan anggaran usulan desain satu yang dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan usulan satu sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Harga total
1	Modul ESP 32	Pcs	Rp. 80.000	2	Rp. 160.000
2	Sensor <i>Optocoupler</i>	Pcs	Rp. 85.000	2	Rp. 170.000
3	Sensor <i>Load Cell</i> HX711	Pcs	Rp. 50.000	2	Rp. 100.000
4	Motor linier	Pcs	Rp. 100.000	2	Rp. 200.000
5	Adaptor 12 V	Pcs	Rp. 40.000	2	Rp. 80.000

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Harga total
6	PSU step down 12 V- 5 V	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
7	LCD Oled	Pcs	Rp. 35.000	2	Rp. 70.000
8	Baterai Lithium	Pcs	Rp. 100.000	2	Rp. 200.000
9	Modul TP4056 Charging Baterai Lithium	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
10	Papan PCB	Pcs	Rp. 20.000	2	Rp. 40.000
11	Soket Molek	Pcs	Rp. 4.000	4	Rp. 16.000
12	Pin Header	Satuan	Rp. 3.000	4	Rp. 12.000
13	Kabel Jumper	Pcs	Rp. 15.000	3	Rp. 15.000
14	Tabung Infus	Pcs	Rp. 50.000	1	Rp. 50.000
15	Tiang Infus	Pcs	Rp. 50.000	1	Rp. 50.000
16	Desain 3D dan Cetak	Satuan	Rp. 300.000	1	Rp. 300.000
Total Belanja					Rp. 1.543.000

Dikarenakan sistem ini tidak hanya menggunakan sistem perangkat keras, namun juga perangkat lunak, maka dalam usulan perancangan ini, penulis juga melakukan usulan sistem aplikasi yang digunakan. Aplikasi monitoring dan kendali infus pasien dari ruang perawat ini tentu saja di desain sesuai dengan hasil observasi yang menunjukkan bahwa pada rumah sakit masih kebanyakan memonitoring manual, sehingga memberikan solusi untuk memudahkan tenaga medis dalam memonitoring dan kendali infus pasien menggunakan perangkat smartphone dan komputer yang berada pada ruang sentral perawat agar lebih efisien. Desain aplikasi dibuat compatible dengan web server dan spesifikasi yang rendah sehingga digunakan aplikasi Telegram yang dapat dilihat pada tampilan seperti Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.10 Tampilan Telegram

3.2.3. Analisa Resiko Desain 2

Analisis risiko pada desain dua menunjukkan beberapa kekurangan yang berdampak pada pembuatan sistem pemantauan dan kendali infus pasien di ruang sentral perawatan. Berikut adalah tiga aspek utama yang perlu diperhatikan:

1. Aspek Engineering

Pada aspek resiko engineering yaitu menentukan komponen sensor dan komponen lain yang sesuai dan memiliki nilai akurasi yang baik dikarenakan dimana komponen yang dijual dipasaran sering kali memiliki nilai error yang tinggi yang akan mempengaruhi pembacaan jarak jauh secara real-time. Selain itu perlindungan komponen terhadap cipratan air dan debu menjadi salah satu resiko aspek engineering dimana jika alat ini tidak memiliki desain cover yang baik dan kedap terhadap air maka komponen akan mudah rusak dan akan membahayakan pasien dan perawat.

2. Aspek Ekonomi

Pada aspek ekonomi dalam proses pembuatan dan pengembangan prototipe memerlukan biaya yang cukup mahal dan dimana satu alat ini untuk satu ruangan pasien yang akan menambah anggaran yang cukup besar yang harus dikeluarkan oleh rumah sakit. Resiko lain akan ada penambahan tenaga perawat (teknisi) untuk merawat alat dengan baik dan benar sehingga akan menambah tenaga kerja.

3. Aspek Sosial

Pada aspek sosial resiko yang akan dihadapi adalah ketergantungan terhadap penggunaan internet dan wifi dimana untuk rumah sakit didaerah

terpencil belum ada internet yang terpasang secara merata. Resiko lain perawat harus melakukan pelatihan dalam memahami operasional alat ini.

3.2.4. Pengukuran Performa

Sistem monitoring dan kendali infus pasien ini memiliki beberapa parameter pengukuran yang krusial, yaitu keberadaan aliran infus, kecepatan aliran, dan sisa cairan infus, dan kendali yang mudah dan efektif. Parameter-parameter ini sangat penting dalam proses infus untuk meminimalisir risiko kecelakaan yang dapat terjadi pada pasien, seperti penyumbatan atau kehabisan cairan. Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan langsung terhadap keempat parameter tersebut, sehingga memungkinkan perawat untuk mengambil tindakan cepat jika terdeteksi adanya masalah.

Dengan adanya usulan sistem ini, proses pengecekan, kendali, dan monitoring kondisi infus pasien menjadi lebih mudah dan efisien. Pengukuran performa sistem juga mencakup pengiriman data secara real-time kepada perawat melalui aplikasi notifikasi dengan menggunakan aplikasi open source yaitu Telegram.

3.3. Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Selama observasi di RS Islam Sultan Agung, tim capstone design menemukan bahwa alat yang ada saat ini, seperti infusion pump, masih menggunakan metode manual dalam memeriksa parameter infus pasien. Dengan menggunakan desain pertama, dikarenakan perawat dapat melakukan pemantauan dan pengaturan parameter pengukuran secara langsung dimana pada usulan pertama ada tombol keypad 4*4 dan display oled atau lewat IoT pada infus pasien secara lebih efisien dan mudah melalui aplikasi *Blynk*. Mempertimbangkan semua faktor tersebut, usulan solusi pertama diharapkan dapat meningkatkan efisiensi kerja perawat dan keselamatan pasien selama proses pemberian dan pemantuan infus, serta menunjukkan komitmen untuk meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan di rumah sakit.

No.	Kegiatan / Capaian	2024			2025					
		Okt	Nov	Des	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu
	1/Capstone Project dan seminar									
5	Pembelian Komponen Alat									
6	Perancangan sistem sesuai proposal									
7	Pengujian dan Pengambilan Data									
8	Analisa Data									
9	Kesimpulan									
10	Expo dan Pengumpulan laporan Akhir									

3.5. Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Berdasarkan *timeline* yang terdapat pada *Gantt chart* dalam pembuatan Sistem Monitoring dan Kendali Infus dari Ruang Sentral Perawat, realisasi pelaksanaan tugas akhir dapat dilihat pada Tabel 3.6, kendala yang dihadapi dalam pembuatan project ini terutama terletak pada proses pembuatan rancangan desain sistem usulan solusi pertama. Selain itu, tantangan juga muncul dalam merealisasikan project ini dengan alat kesehatan yang sesuai standar di rumah sakit. Desain yang ergonomis, fungsional dan keamanan sangat penting untuk memastikan sistem dapat beroperasi dengan baik dan memenuhi kebutuhan perawat dalam memantau kondisi infus pasien secara efektif. Dengan memperhatikan kendala-kendala tersebut, penulis berusaha untuk mengoptimalkan setiap tahap pengerjaan agar hasil akhir dari sistem monitoring dan kendali infus ini dapat diterima dan digunakan dengan baik di lingkungan rumah sakit.

Tabel 3.6 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1

No.	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Jum'at, 27 September 2024	Penentuan Topik <i>Capstone design</i>	Haris Ardani Juwita
2	Senin, 07 November 2024	Survei lokasi mitra di RSI Sultan Agung Semarang	Haris Ardani Juwita
3	Senin, 11 November 2024	Membuat pertanyaan dan jawab dengan stackholder, mencari referensi jurnal, membuat Latar belakang	Haris Ardani Juwita
4	Rabu, 13 November 2024	Mencari referensi jurnal	Haris
5	Kamis, 14 November 2024	Revisi Latar Belakang	Juwita
6	Jumat, 15 November 2024	Pembuatan tebal pertanyaan	Ardani
7	Senin, 25 November 2024	Melengkapi Bab 1	Juwita
8	Selasa, 3 Desember 2024	Membuat Bab 2	Ardani
9	Kamis, 5 Desember 2024	Membuat Bab 3, Penentuan Solusi usulan 1 dan 2	Haris Ardani Juwita
10	Jumat, 13 Desember 2024	Diskusi penentuan parameter yang dimonitoring	Haris Ardani Juwita
11	Senin, 16 Desember 2024	Diskusi penentuan aktuator yang digunakan	Haris Ardani Juwita
12	Selasa, 17 Desember 2024	Penentuan Komponen alat	Haris
13	Rabu, 18 Desember 2024	Bimbingan mengenai Desain alat	Haris Ardani Juwita
14	Kamis, 19 Desember 2024	Diskusi mengenai konsep desain alat	Haris Ardani Juwita
15	Jumat, 20 Desember 2024	Pembuatan desain alat	Haris
16	Senin, 23 Desember 2024	Pembuatan Bab 4	Haris

No.	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
17	Kamis, 25 Desember 2024	Pembuatan gambar Rangkaian	Haris
18	Jumat, 27 Desember 2024	Bimbingan mengenai proposal	Haris Ardani Juwita



BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

4.1. Hasil Rancangan Sistem

Pada proses perancangan sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat ini memiliki basis IoT menggunakan *Blynk* dan Mikrokontroler ESP32, tim *capstone design* mengembangkan dari penelitian sebelumnya yang belum menggunakan ESP32 dan multikontrol dengan cara langsung atau dengan cara jarak jauh (IoT). Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi kerja perawat, sekaligus sebagai monitoring agar mudah mengetahui kondisi infus pasien secara *real time* dan merespons dengan cepat jika ada masalah.

Dalam usulan desain ini, sensor yang digunakan seperti sensor *optocoupler* dan *load cell* HX711. fungsi sensor *optocoupler* sebagai pembaca Tetesan Permenit (TPM) pada cairan infus yang mengalir, dan untuk *load cell* HX711 digunakan sebagai pembaca nilai berat infus yang nantinya digunakan untuk mendeteksi sisa berat dari cairan infus. Untuk perubahan pada *software* atau *interface* yang digunakan adalah penambahan sistem kendali langsung pada alat menggunakan tombol keypad 4*4 dan layar oled 1,3 inch sebagai tampilan menunya dan penambahan sistem kendali jarak jauh komunikasinya melalui *Wi-fi* menggunakan aplikasi *Blynk* yang terhubung dengan laptop dan handphone perawat.

Berikut merupakan rincian bagian hasil rancangan sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat secara umum yaitu:

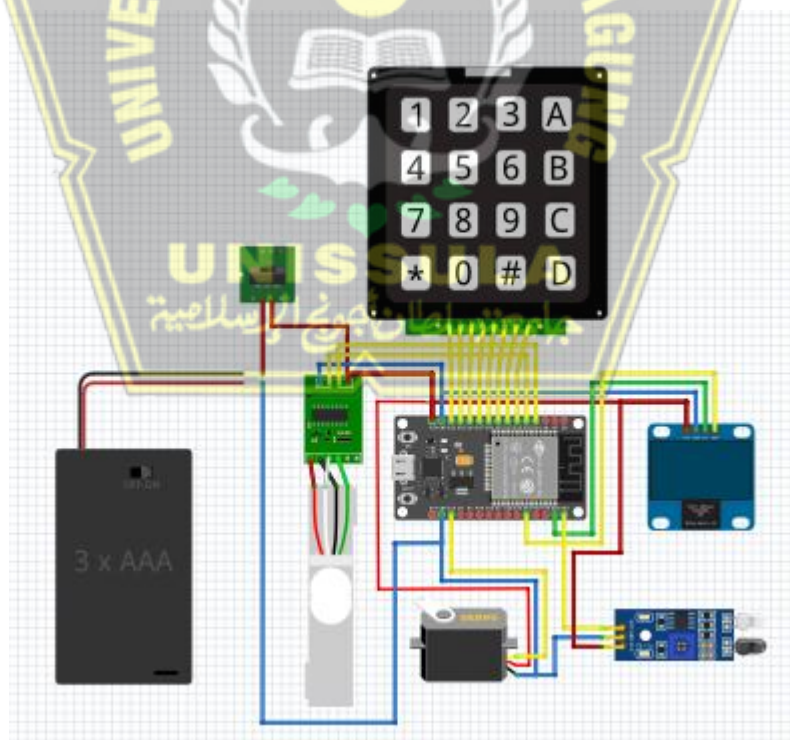
4.1.1. Rangkaian Elektronik

Pada proses *prototyping* alat untuk Tugas Akhir 2 ini, tim *capstone design* menggunakan komponen yang telah ditentukan dalam Bab 3 Tugas Akhir 1 untuk membuat rangkaian elektronik. Hasil rancangan alat dapat dilihat pada tabel 4.1 yang menunjukkan alat di ruang pasien. Selain itu, rincian lebih lanjut mengenai komponen dan spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Komponen rangkaian elektronik

No.	Komponen
1	Microkontroler ESP 32
2	Board Expansion ESP 32
3	Sensor <i>Optocoupler</i>
4	Sensor <i>Load Cell</i> HX711
5	Motor Servo MG996R
6	Adaptor 12V
7	LCD OLED 1,3 Inch
8	Keypad 4*4
9	Baterai Lithium 1850 3S 12V
10	BMS Baterai Lithium

Setelah tim *capstone design* menentukan dan melakukan pembelian komponen tersebut, tim capstone design juga melakukan rangkaian elektronik dengan menggunakan software *Fritzing*. Berikut merupakan perancangan elektronis dan pembuatan alat secara langsung yaitu:

Gambar 4.1 Rangkaian elektronik menggunakan *Fritzing*

Berdasarkan gambar rangkaian elektronis yang ditunjukkan, rangkaian tersebut merupakan sistem elektronik untuk alat di ruang rawat inap atau pasien. Rangkaian ini terdiri dari sensor-sensor, servo MG996R, mikrokontroler ESP32, *keypad 4*4*, LCD oled 1,3 inch, baterai. Sensor yang digunakan dalam sistem ini adalah sensor *optocoupler* dan sensor *load cell* HX711 yang berfungsi untuk mendeteksi berbagai parameter parameter infus. Mikrokontroler ESP 32 berperan sebagai penghubung dan pemproses antara sensor dan komponen lainnya serta mengirimkan data dengan WiFi, sehingga data yang diperoleh dapat diproses dan ditampilkan pada *output*. *Output* utama dari rangkaian ini adalah LCD oled 1,3 inch, *smartphone*, komputer yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran parameter dari alat yang berada di ruang rawat inap dengan bantuan aplikasi IoT *Blynk*.

Sensor *optocoupler* digunakan untuk mendeteksi atau pembacaan tetesan permenit pada infus. Sensor ini dipasang pada chamber infus (ruang tetesan infus). Sensor *optocoupler* bekerja dengan sinar inframerah yang dipancarkan dari LED IR ke fotodetektor (biasanya phototransistor atau photodiode) dimana saat tetesan air infus terjatuh tetesan tersebut akan menghalangi atau membiaskan sinar IR. Dimana jika tidak ada tetesan air infus yang jatuh maka Sinar IR dari LED diterima penuh oleh fotodetektor, menghasilkan tegangan tinggi (*HIGH*). Namun jika ada tetesan air infus yang jatuh maka sebagian atau seluruh sinar IR terhalang dan fotodetektor menerima sinar lebih sedikit sehingga sinyal berubah menjadi rendah (*LOW*). Jadi setiap perubahan *HIGH* ke *LOW* ke *HIGH* lagi dihitung sebagai 1 tetesan.

Sensor *load cell* HX711 digunakan untuk mendeteksi atau membaca sisa berat dari cairan infus. Sensor ini dipasang diatas tiang infus yang dimana sensor ini diberikan pengait yang fungsinya menggantungkan cairan infus. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi gaya tekanan atau berat dengan prinsip regangan (*strain gauge*). Untuk penguatan pembacaan dari sensor ini terdapat modul amplifier HX711 dan konverter ADC 24-Bit yang digunakan untuk membaca sinyal listrik kecil dari *load cell* agar bisa dibaca oleh mikrokontroler ESP32. Jadi proses perubahan dari beban ke data input ESP32 yaitu saat infus tergantung pada *Load*

Cell, beban dari cairan infus menekan sensor. Tekanan tersebut menyebabkan regangan pada elemen logam di dalam *Load Cell* dimana regangan ini menyebabkan perubahan resistansi listrik pada strain gauge yang akan mengubah tegangan *output* biasanya sangat kecil sebesar milivolt. Untuk menguatkan pembacaan diperlukan modul amplifier HX711 untuk memperkuat sinyal ini dan mengubahnya menjadi nilai digital (24-bit). Dari nilai digital dari HX711 diubah menjadi berat dalam gram/mililiter.

Motor Servo MG996R digunakan sebagai aktuator kendali tetesan infus. Motor servo MG996R dipasang dekat dengan selang cairan infus yang dimana motor servo akan menekan selang untuk mengendalikan kecepatan tetesan infus. Semakin menekan selang infus maka nilai tetesan akan semakin kecil, sebaliknya jika tekanan pada selang infus semakin kecil maka nilai kecepatan tetesnya semakin besar. Motor servo MG996R ini dikendalikan dari perubahan nilai input tetesan yang akan dirubah menjadi nilai derajat servo sesuai dengan nilai tetesan permenit yang dibaca dan ditentukan oleh user. Jadi jika nilai tetesan 15 permenit maka derajat servo di 45 derajat.

Keypad 4*4 digunakan sebagai kendali input menu atau input parameter tetesan secara offline atau langsung ke alat sehingga alat ini dapat dikendalikan dari menunya dari offline yang digunakan untuk kalibrasi ulang servo, sensor *load cell* dan input target TPM yang akan dipilih. Prinsip kerja keypad 4*4 terdapat matriks tombol berisi 16 tombol yang disusun dalam 4 baris (row) dan 4 kolom (column). Mikrokontroler akan mengaktifkan 1 baris (HIGH), baris lain LOW. Jika ada tombol ditekan, maka kolom yang sesuai akan LOW (aktif). Dimana Bergantian scan baris lain sampai menemukan tombol yang ditekan. Proses ini dilakukan sangat cepat sehingga pengguna tidak menyadari adanya “pindai” (scanning). Tombol digunakan untuk memasukkan angka (0–9), huruf (A–D), dan fungsi khusus seperti * (Enter) atau # (Clear).

LCD Oled 1,3 inch digunakan untuk output tampilan offline/langsung yang terpasang pada alat fungsinya sebagai tampilan teks atau data paramater yang terbaca oleh sensor atau menampilkan derajat dari motor servo. LCD oled 1,3 Inch

memiliki resolusi 128*64 dan untuk komunikasinya menggunakan protokol I2C yang hemat pin yang hanya membutuhkan 2 pin (SDA dan SCL).

Penghubung antar komponen menggunakan expansion board ESP32 yang digunakan sebagai papan penghubung antar komponen yang dihubungkan dengan kabel jumper. Pada expansion board ESP32 setiap pin sudah terdapat GND dan VCC 5V sehingga setiap pin data memiliki power untuk mengaktifkan sensor.

Selain menentukan komponen yang digunakan, untuk mengetahui jalur pin data input dan output maka diperlukan gambar wiring pin data seperti dibawah ini:

1. Sensor *Optocoupler*
 - I/O : PIN 34
 - VCC : VCC 5V
 - GND : GND
2. Sensor *Load cell*
 - A+ : KABEL HIJAU
 - A- : KABEL ORANGE
 - E- : KABEL KUNING
 - E+ : KABEL BIRU
3. Modul HX711
 - SCK : PIN 18
 - DT : PIN 5
 - VCC : VCC 5V
 - GND : GND
4. Motor Servo
 - I/O : PIN 15
 - VCC : VCC 5V
 - GND : GND
5. keypad 4*4
 - PIN 1 : PIN 32

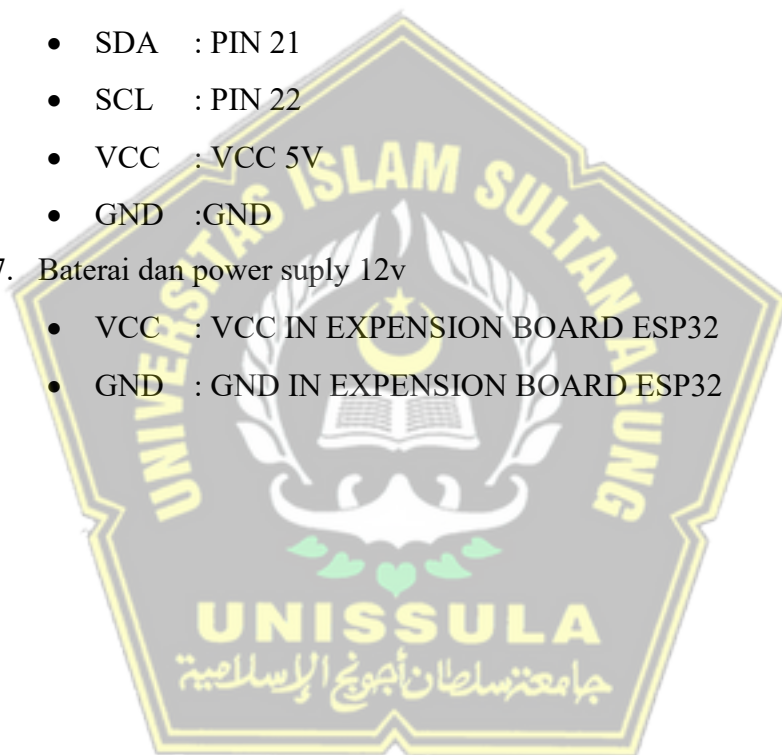
- PIN 2 : PIN 33
- PIN 3 : PIN 25
- PIN 4 : PIN 26
- PIN 5 : PIN 27
- PIN 6 : PIN 14
- PIN 7 : PIN 12
- PIN 8 : PIN 13

6. LCD OLED 1,3 inch

- SDA : PIN 21
- SCL : PIN 22
- VCC : VCC 5V
- GND : GND

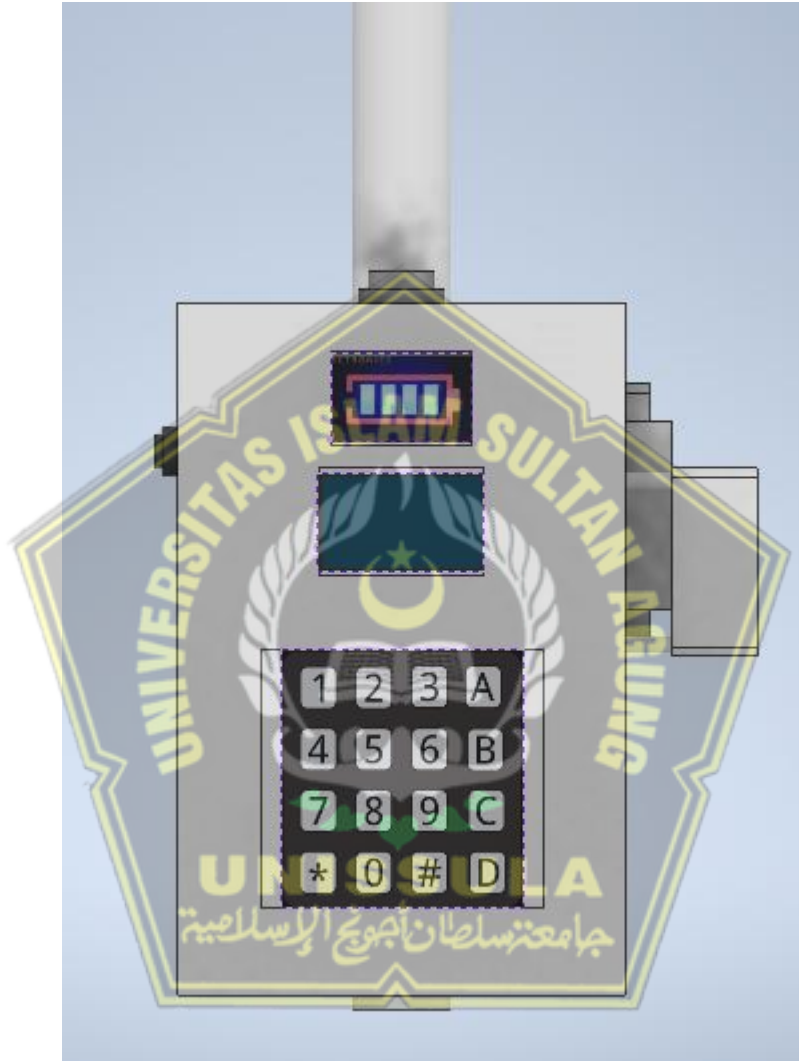
7. Baterai dan power supply 12v

- VCC : VCC IN EXPENSION BOARD ESP32
- GND : GND IN EXPENSION BOARD ESP32



4.1.2. Gambar Desain Tiga Dimensi (3D)

Berikut ini adalah tampilan realisasi 3D alat monitoring dan kendali infus diruang sentral perawat.



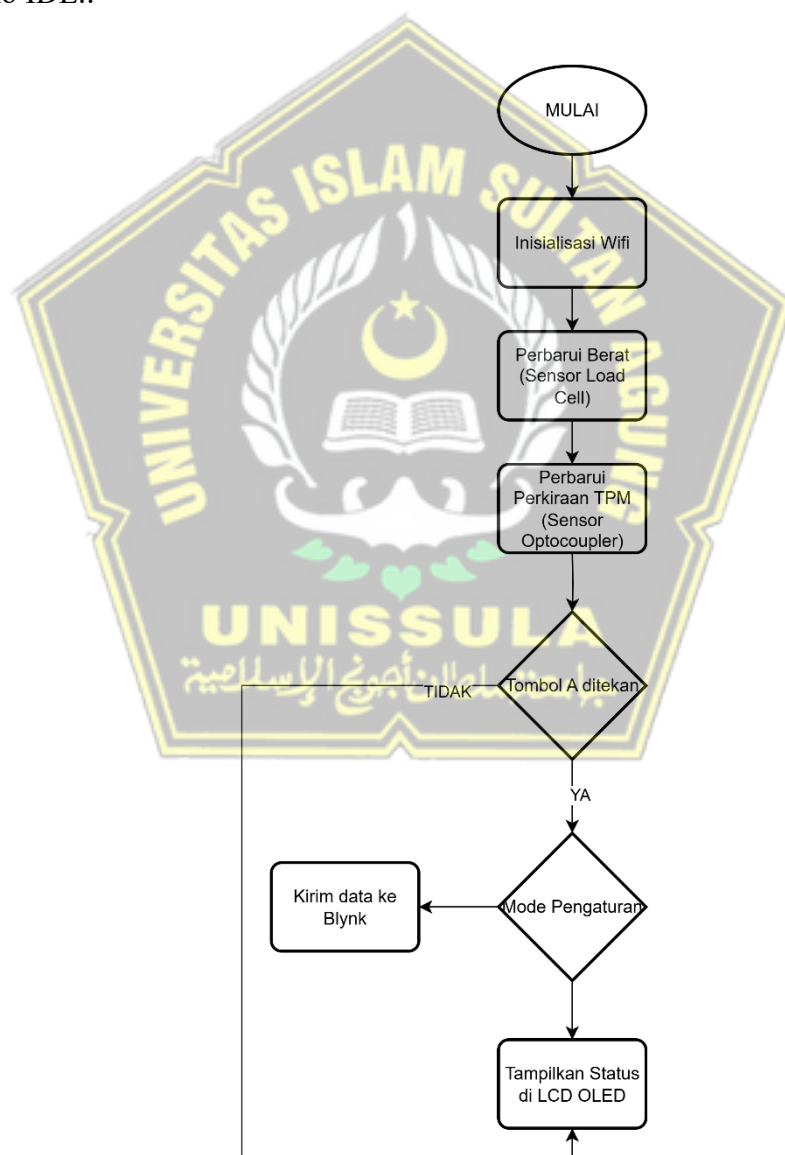
Gambar 4.2 Desain 3D sistem monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat

Pada proses pembuatan alat, terdapat beberapa penyesuaian ulang dari usulan desain. Desain 3D alat ini memiliki ukuran 9,5 cm x 14,7 cm x 5,5 cm. Tampilan realisasi desain 3D dari alat dapat dilihat pada gambar 4.2. untuk bagian depan difungsikan sebagai interface yang terdapat tombol keypad 4*4, indikator baterai, layar OLED 1.3 inch. pada bagian samping kanan terdapat sistem kendali motor servo. pada bagian samping kiri difungsikan sebagai letak lubang charger 12V. Pada bagian atas difungsikan sebagai letak tombol *push button ON/OFF*. Alat

akan diletakkan ditiang infus dengan breaket U sebagai penghubung antara tiang dengan alat. Sensor *Load cell* HX771 berada diujung tiang infus, Sensor *Optocoupler* terletak pada chamber infus.

4.1.3. *Software atau Interface*

Pada perancangan dalam pembuatan *software* dimulai setelah komponen sensor elektronik dan komponen lain sudah terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Program yang digunakan adalah bahasa C++ menggunakan aplikasi Arduino IDE.:



Gambar 4.3 Flowchart Program

Proses inisialisasi awal (setup) dimana OLED menginisialisasi OLED dan menampilkan pesan “Sistem Infus Manual” status wifi. Selanjutnya Wifi & Blynk menghubungkan server Blynk. Jika berhasil maka ditampilkan dilayar OLED “Blynk: OK” dan jika gagal “Blynk: Reconnecting”. Pengaturan awal servo diposisikan ke nilai 10 derajat. Untuk sensor *load cell* HX711 dikalibrasi dengan nilai skala 660,0. Sensor *Optocoupler* interrupt diaktifkan pada pin 34, sehingga setiap ada tetesan (Falling) akan memanggil fungsi `countDrop()`.

Proses loop utama yang pertama `Blynk.run()` yaitu menjalankan proses Blynk secara terus menerus agar selalu sinkron dengan aplikasi handphone. Selanjutnya keypad input:

- Tombol A: Masuk/Keluar mode menu untuk pengaturan servo manual
- Tombol B: konfirmasi nilai input dari keypad untuk menyimpan set nilai servo
- Tombol C: Clear nilai input pada menu
- Tombol lain akan disimpan diinputbuffer

Pada program sensor *optocoupler* mendeteksi tetesan menggunakan waktu interval dalam satuan milidetik yang selanjutnya dikirimkan ke OLED dan Blynk menggunakan rumus TPM (Tetesan Permenit):

$$TPM = \frac{60.000}{interval(ms)}$$

Keterangan:

60.000: satuan menit dalam konversi milidetik

Interval (ms): selisih waktu antara tetesan pertama dan kedua

Pada program sensor *load cell* dibaca dan dikirim ke OLED dan Blynk setiap 1 detik. Untuk kendali servo dikendalikan multikontrol dengan keypad dan Blynk slider (Virtual PIN V3) dengan batas mulai dari 0 derajat sampai 60 derajat. Sinkronisasi data ke Blynk setiap 30 detik mulai dari TPM (Virtual pin V1), Servo (Virtual pin V3) dan berat (Virtual pin V4). OLED menampilkan:

- TPM: Hasil prediksi sensor
- Servo: Posisi derajat servo saat ini
- Sisa: Berat cairan infus
- Status Wifi/Blynk

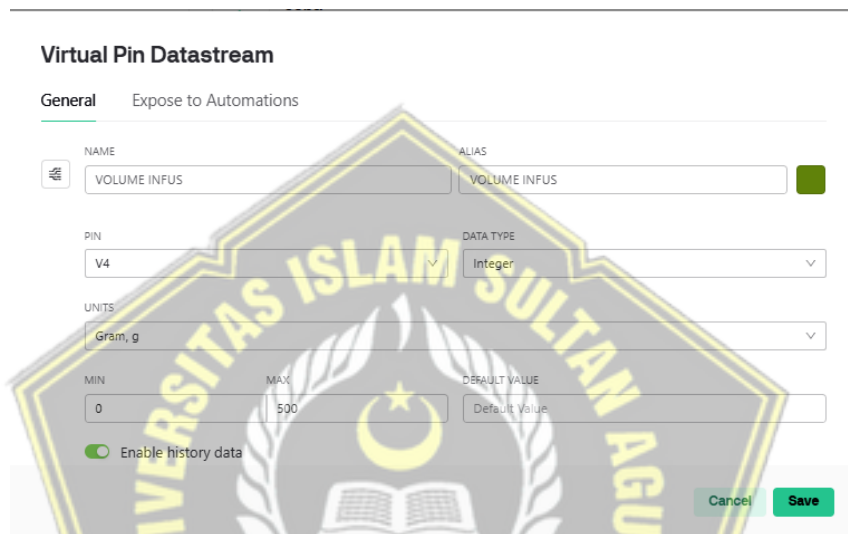
Fungsi penting dalam program:

- `countDrop()`
Interrupt sensor tetesan.
Menghitung waktu antar tetesan digunakan untuk menghitung tpm.
- `updateLoadCell()`
Membaca berat infus dari *load cell*.
- `updateTPM()`
Update TPM ke OLED & Blynk saat ada tetesan baru.
- `BLYNK_WRITE(V3)`
Mengatur servo dari slider/input aplikasi Blynk
- `BLYNK_CONNECTED()`
Berfungsi sinkron data awal saat Blynk terhubung.

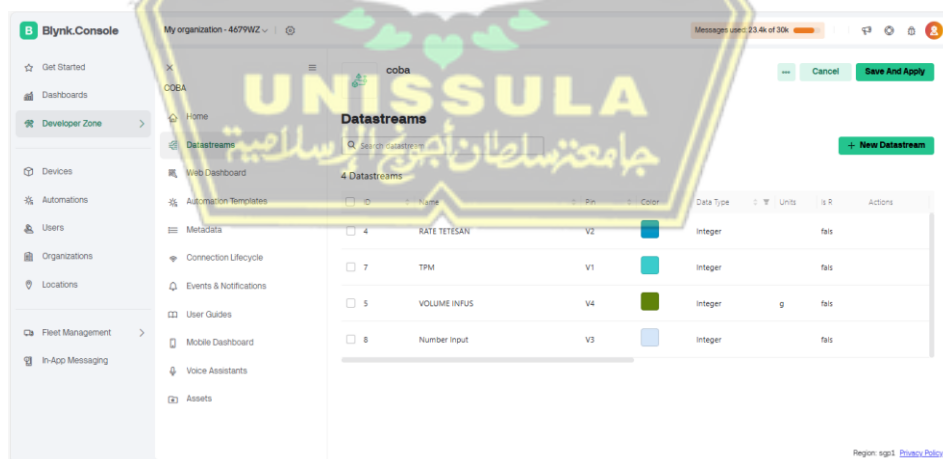
Sehingga alur sistem program:

1. Nyalakan → OLED tampilkan status WiFi dan Blynk.
2. Jika WiFi + Blynk sukses → tampilkan “Sistem Siap”.
3. Tetesan infus terdeteksi sensor → hitung TPM.
4. Berat infus dibaca *load cell* → tampil ke OLED & Blynk.
5. User dapat:
Atur servo via Keypad (A/B).
Atur servo via Blynk Slider (Virtuapin).
6. Semua data terus diperbarui ke OLED & Blynk.

Gambar 4.4 dan 4.5 adalah tangkap layar dari pengaturan awal untuk menghubungkan aplikasi blynk. Untuk bisa menghubungkan mikrokontroler ESP 32 maka diperlukan pengaturan. Dimana pengaturan dimulai dari menentukan virtual pin, tipe data, batas minimum dan maksimum pembacaan/pengaturan, dan satuan paramater di aplikasi blynk. Untuk virtual pin harus sama dengan program yang ada diarduino.



Gambar 4.4 pengaturan virtual pin *datastream*



ID	Name	Pin	Color	Data Type	Units	Is R	Actions
4	RATE TETESAN	V2	Blue	Integer		false	
7	TPM	V1	Teal	Integer		false	
5	VOLUME INFUS	V4	Green	Integer	g	false	
6	Number input	V3	Light Blue	Integer		false	

Gambar 4.5 pengaturan virtual pin *blynk*

Dibawah ini adalah tabel virtual pin yang digunakan pada alat sistem monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat:

Tabel 4.2 virtual pin

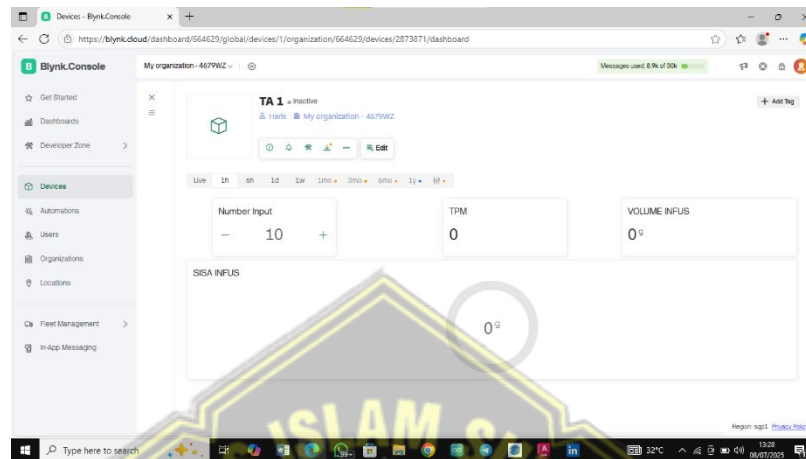
Virtual Pin	Arrduino IDE	Fungsi	Keterangan
V1	Blynk.virtualWrite (V1, tpm);	Menampilkan nilai TPM (Tetes Per Menit)	Data dari sensor <i>optocoupler</i> dikirim ke aplikasi Blynk.
V3	Blynk.virtualWrite (V3, servoSetpoint);	Kendali Servo (Setpoint Manual)	Nilai sudut servo diatur manual dari slider di Blynk.
V4	Blynk.virtualWrite (V4, weightInt);	Menampilkan Berat Infus	Data berat infus dari <i>load cell</i> dikirim ke aplikasi Blynk.
V5	Blynk.virtualWrite (V5, servoSetpoint);	Menyimpan & Menampilkan Setpoint Servo	Backup nilai servo setpoint yang dikirim ke Blynk.

Sehingga pada tamplet disesuaikan virtual pin yang digunakan sehingga tampilannya seperti gambar 4.6 ini:



Gambar 4.6 Tampilan di blynk

Maka tampilan akhir setelah dilakukan pengaturan mengenai tamplet interface dan menghubungkan dengan virtual pin yang sesuai dapat dilihat pada gambar 4.7 ini:



Gambar 4.7 Desain interface monitoring pada komputer perawat



Gambar 4.8 Desain *interface* monitoring dari *smartphone* perawat

Aplikasi blynk dipilih karena kemudahan dalam akses dan gratis. dimana semua orang dapat mendownload dan menggunakan atau mengatur sesuai keinginan. Aplikasi blynk juga sudah terhubung cloud dengan web server blynk sehingga dapat diakses lewat komputer dan handphone kapanpun dan dimanapun selama masih ada internet yang terhubung sehingga memberikan kemudahan pada tenaga medis.

4.1. Metode Pengukuran Hasil Perancangan

Dalam proses pengembangan alat sistem monitoring dan kendali infus dari ruang sentral perawat ini, diperlukan metode pengujian yang benar sehingga dapat menggambarkan bagaimana sistem bekerja dengan baik dan tanpa kendala. Tujuannya tidak hanya memastikan alat menyala dan merespons dengan baik. Namun juga untuk melihat sejauh mana alat dapat diandalkan dalam kondisi sesungguhnya khususnya diruang pasien dirumah sakit. Cara yang digunakan dalam melakukan pengujian antara lain:

1. Pengujian Fungsional
Uji semua fungsi dari sistem, seperti tombol keypad 4*4, layar OLED dan userinterface blynk yang digunakan.
2. Pengujian akurasi Sensor *optocoupler* dan *load cell* HX711
Pengujian Sensor dimana sensor diuji apakah bekerja dan terkalibrasi dengan baik dengan membandingkan akurasi pembacaan dengan alat manual untuk sensor *optocoupler* dilihat dan dihitung tetesan langsung dan untuk sensor *load cell* dibandingkan dengan timbangan pabrik yang sudah terkalibrasi.
3. Pengujian Konsumsi Baterai & Pengisian Baterai
Pengujian Baterai adalah pengujian tentang konsumsi baterai yang diukur dari tegangan baterai, dan lama pengisian baterai sampai terisi penuh.
4. Pengujian Jarak Komunikasi (Wifi & Blynk App)
Pengujian Jarak Komunikasi adalah pengujian tentang jarak alat dapat bekerja dengan baik dan mengirim dengan baik dengan sambungan wifi internet.

5. Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo adalah sebagai kendali TPM yang menggunakan nilai sudut servo sebagai pengatur nilai laju TPM sehingga pengujian dilakukan agar mengetahui setiap sudut servo menghasilkan berapa TPM.



BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

5.1. Analisis Hasil

Analisis hasil pengukuran sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat, bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas dan kinerja implementasi solusi yang telah dirancang. Evaluasi ini mencakup berbagai aspek, termasuk fungsional alat, akurasi sensor, kemudahan kendali dan kinerja sistem telah sesuai atau tidak. Berikut adalah hasil analisis dari pengukuran alat yang mencakup beberapa parameter utama:

5.1.1. Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

Pengujian indikator dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat monitoring dan kendali infus yang telah dikembangkan dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pengguna. Pengujian dilakukan pada beberapa aspek utama, yaitu pengujian fungsional alat, parameter akurasi sensor, daya tahan baterai, komunikasi pengiriman data ke aplikasi Blynk, kendali pengaturan alat.

5.1.1.1. Pengujian Fungsional Alat

Pengujian yang pertama adalah pengujian fungsional alat berupa Tombol ON/OFF, charger battery, layar OLED, keypad 4*4, indikator baterai. pengujian ini berfungsi untuk memeriksa konektivitas antar komponen apakah sudah tersambung dan dapat bekerja dengan baik sesuai fungsinya. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali secara berturut-turut, untuk meminimalisir error yang ada di komponen-komponen yang digunakan. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel 5.1 berikut ini:

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Fungsional Alat

No	Pengujian	Tombol ON/OFF	Charger Battery	Layar OLED	Keypad 4*4	Indikator Baterai
1	Pertama	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
2	Kedua	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
3	Ketiga	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
4	Keempat	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
5	Kelima	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi

Hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali menunjukkan bahwa alat ini dapat berfungsi dengan baik dan fungsional, karena dalam 5 kali pengujian tidak terdapat error sama sekali. Dapat disimpulkan bahwa komponen alat ini sudah siap digunakan untuk tahapan selanjutnya.

5.1.1.2. Pengujian Sensor *Load cell*

Pengujian sensor *load cell* ini dilakukan sebagai upaya evaluasi akurasi pembacaan sensor *load cell* terhadap pembacaan berat infus. Dimana metode pengujian akurasi dengan cara membandingkan pembacaan sensor *load cell* dengan timbangan massa manual yang sudah terkalibrasi. Berat infus sendiri merupakan faktor penting untuk mengetahui apakah infus masih terdapat cairan dan sisa cairan. Pengujian ini dilakukan dalam 4 kondisi, ketika berat infus penuh, berat infus setengah, berat infus mendekati habis, dan ketika tidak ada cairan.

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel 5.2 berikut ini:

Tabel 5.2 Hasil pengujian sensor *load cell*

No	Parameter	Hasil Alat (g)	Hasil Manual (g)	Selisih (g)	Akurasi (%)	Error %	Deviasi %
1	Berat infus penuh	551	554	3	99,46	0,54	0,54
2	Berat infus setengah (50%)	274	277	3	99,46	1,08	0,54
3	Berat infus mendekati habis	133	136	3	99,46	2,21	0,54
4	Tidak ada cairan	0	0	0	100,00	0	0
Rata - Rata				3	99,59	0,95	0,54

$$\text{Persentase Akurasi} = \left(1 - \frac{|\text{hasil alat} - \text{hasil manual}|}{\text{hasil manual}}\right) \times 100\%.$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \left(1 - \frac{|554 - 551|}{554}\right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{3}{554}\right) \times 100 = 99,46\% \end{aligned}$$

$$Error\% = \frac{|Hasil Manual - Hasil Alat|}{Hasil Manual} \times 100\%$$

Perhitungan :

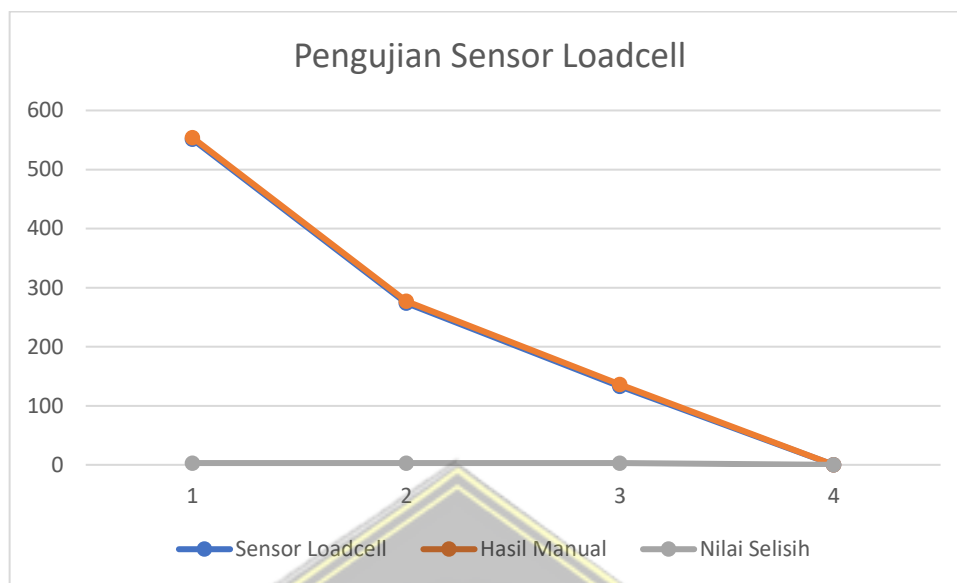
$$\begin{aligned} Error &= \left(\frac{|554 - 551|}{554} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{3}{554} \right) \times 100 = 0,54\% \end{aligned}$$

$$Deviasi = 100\% - Akurasi$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} Deviasi &= 100\% - 99,46\% \\ &= 0,54\% \end{aligned}$$

Hasil pengujian sensor *load cell* menunjukkan nilai perbandingan pembacaan sensor *load cell* dengan pembacaan timbangan massa manual. Dari hasil pengujian didapat rata-rata akurasi sebesar 99,46% dengan selisih pembacaan 3 gram. Selisih pembacaan konsisten di nilai 3 gram dalam berbagai kondisi, antara lain kondisi ketika berat infus penuh, ketika berat infus setengah, dan ketika berat infus mendekati habis. Dengan nilai akurasi yang sangat besar bahkan hampir mendekati sempurna, sensor *load cell* ini sendiri terbilang akurat dan efektif. Untuk nilai deviasi dan error juga menunjukkan nilai yang kecil sehingga sensor bekerja dengan baik.



Gambar 5.1 Grafik hasil pengujian sensor *load cell*

5.1.1.3. Pengujian Sensor *Optocoupler*

Pengujian sensor *optocoupler* ini dilakukan sebagai upaya evaluasi akurasi pembacaan sensor *optocoupler* terhadap nilai tetesan dengan cara hitungan manual. Nilai tetesan dalam suatu infus sendiri sangat berpengaruh terhadap dosis cairan infus ke pasien, dan ini bisa terbilang krusial. Oleh karena itu, perlu pengujian untuk mendapatkan nilai akurasi yang akurat dan sempurna agar mengetahui alat ini bisa digunakan dan diimplementasikan secara baik. Untuk mencari nilai akurasi dengan.

Data hasil pengujian disajikan dalam tabel 5.3 berikut ini:

Tabel 5.3 Hasil pengujian sensor *optocoupler*

No	Manual Set Tetesan (TPM)	Hasil Sensor (TPM)	Hitungan Manual (TPM)	Selisih (TPM)	Akurasi (%)	Error %	Deviasi %
1	5	6	7	1	85,71	14,29	14,29
2	10	11	12	1	91,6	8,33	8,4
3	15	15	15	0	100	0	0
4	20	20	20	0	100	0	0
5	25	25	26	1	96,15	3,85	3,85
Rata - Rata					94,69		

$$\text{Persentase Akurasi} = \left(1 - \frac{|\text{hasil alat} - \text{hasil manual}|}{\text{hasil manual}}\right) \times 100\%.$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \left(1 - \frac{|7 - 6|}{7}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{1}{7}\right) \times 100\% = 85,71\% \end{aligned}$$

$$\text{Error\%} = \frac{|\text{Hasil Manual} - \text{Hasil Alat}|}{\text{Hasil Manual}} \times 100\%$$

Perhitungan :

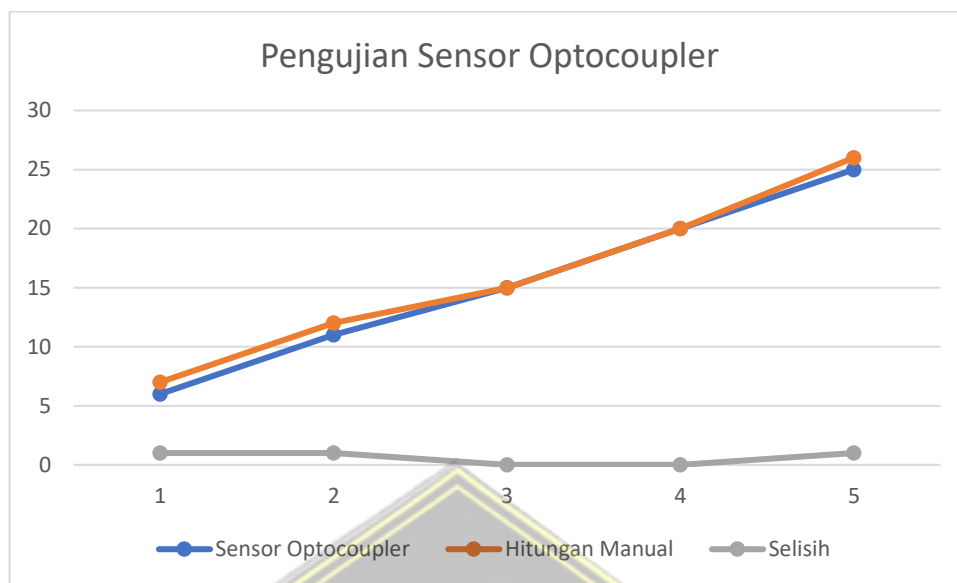
$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left(\frac{|7 - 6|}{7}\right) \times 100 \\ &= \left(\frac{1}{7}\right) \times 100 = 14,29\% \end{aligned}$$

$$\text{Deviasi} = 100\% - \text{Akurasi}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Deviasi} &= 100\% - 85,71\% \\ &= 14,29\% \end{aligned}$$

Hasil pengujian sensor *optocoupler* menunjukkan nilai perbandingan pembacaan sensor *optocoupler* dengan pembacaan hitung secara manual. Dari hasil pengujian didapat nilai akurasi dengan rata-rata sebesar 94,69% dengan selisih pembacaan di rentang 0 dan 1. Pengujian yang telah dilakukan sebanyak lima kali dengan mengontrol nilai tetesan yang keluar per menit (TPM) menghasilkan nilai dengan akurasi yang tinggi dan selisih yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor *optocoupler* sendiri bisa terbilang sudah akurat dan efektif. Untuk nilai deviasi dan error juga menunjukkan nilai yang kecil sehingga sensor bekerja dengan baik.



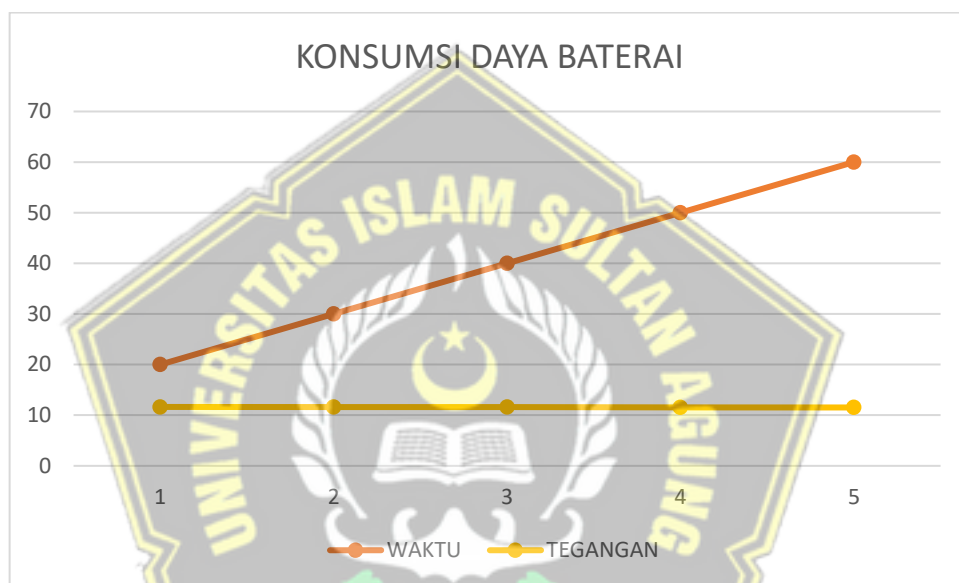
Gambar 5.2 Grafik hasil pengujian sensor *optocoupler*

5.1.1.4. Pengujian Konsumsi Baterai dan Pengisian Baterai

Pengujian konsumsi baterai ini dilakukan untuk mengetahui konsumsi penggunaan baterai yang digunakan yaitu dengan cara mengoperasikan dan membiarkan perangkat dalam keadaan digunakan normal secara kontinu selama 60 menit. Kapasitas baterai lithium 4500mAh. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa perangkat cukup andal untuk pemantauan infus satu siklus penuh tanpa perlu pengisian ulang di tengah penggunaan. Pengujian dilakukan selama 1 jam dan tegangan dari baterai diperiksa secara berkala. Untuk menjaga nilai efektif dan efisiensi baterai, maka spesifikasi dari baterai yang digunakan harus bisa discharge. Pengujian pengisian baterai juga dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga ke tegangan maksimalnya. Pengujian dilakukan dengan durasi waktu yang sama seperti pemakaian yaitu selama 60 menit. Data hasil pengujian disajikan dalam tabel 5.4 dan tabel 5.5 berikut ini:

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Konsumsi Baterai

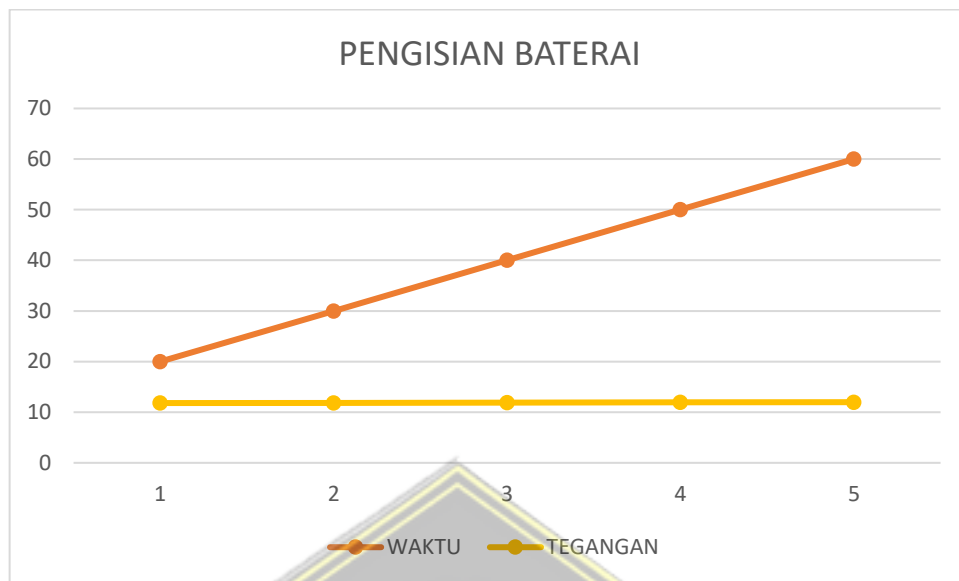
No	Lama Penggunaan (Menit)	Tegangan Awal	Tegangan Akhir	Keterangan
1	20	11,71	11,64	Stabil
2	30	11,64	11,61	Stabil
3	40	11,61	11,58	Stabil
4	50	11,58	11,55	Stabil
5	60	11,55	11,53	Stabil



Gambar 5.3 Grafik hasil pengujian konsumsi daya baterai

Tabel 5.5 Hasil Pengisian Baterai

No	Lama Pengisian (Menit)	Tegangan Awal	Tegangan Akhir	Keterangan
1	20	11,53	11,81	Stabil
2	30	11,81	11,86	Stabil
3	40	11,86	11,90	Stabil
4	50	11,90	11,94	Stabil
5	60	11,94	11,98	Stabil



Gambar 5.4 Grafik hasil pengujian pengisian baterai

Dalam pengujian yang dilakukan selama satu jam penuh, pemeriksaan nilai tegangan baterai secara berkala juga dilakukan setiap 10 menit sekali. Dilakukan juga pengujian konsumsi daya (watt) alat dengan menggunakan alat ukur watt meter HOIKI Model 3183 dan didapatkan nilai :

Arus (Ampere)	Konsumsi Daya (Watt)
0.009	00.67

Energi baterai (Wh) = Tegangan nominal (V) × Kapasitas (Ah)

$$E = V \times Ah$$

Runtime (jam) = (Energi baterai × efisiensi × faktor pakai) / Daya beban (W)

$$t = \frac{E \times \eta \times DoD}{P}$$

Keterangan :

Baterai : 18650, kapasitas 4500 mAh (4,5 Ah)

Konfigurasi : 3S → tegangan nominal = 3 × 3,7 V = 11,1 V (mendekati “12 V”)

Konsumsi alat : 0,67 W

Efisiensi sistem (η) diasumsikan 0,9 (90%)

Depth of Discharge (DoD) aman: 0,8 (80%)

Menghitung energi baterai :

$$E = V \times Ah = 11,1 \times 4,5 = 49,95 \text{ Wh}$$

Menghitung lama pemakaian :

$$t = \frac{E \times \eta \times DoD}{P}$$

$$t = \frac{49,95 \times 0,9 \times 0,8}{0,67}$$

$$t = \frac{35,96}{0,67} \approx 53,7 \text{ jam}$$

Dari hasil perhitungan dengan kapasitas baterai 4500mAh dengan jenis baterai 18650 baterai dapat bertahan selama 53,7 jam.

5.1.1.5. Pengujian Jarak Komunikasi

Pengujian jarak dilakukan untuk mengetahui jarak perangkat dapat mengirimkan data ke server aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi. Pengujian ini juga bertujuan untuk mendapatkan nilai jarak wifi yang efektif untuk perangkat dan alat berkomunikasi tanpa terjadi hambatan atau kehilangan sinyal. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali dengan rentang jarak alat dengan router wifi yang berbeda-beda. Data disajikan dalam tabel 5.5 berikut ini:

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Jarak Komunikasi

No	Jarak (Meter)	Status Koneksi	Keterangan
1	4	Terhubung	Sinyal Sangat Baik
2	8	Terhubung	Stabil
3	12	Terhubung	Sedikit Delay
4	16	Terhubung	Kadang Terputus
5	24	Terputus	Diluar Jangkauan WiFi

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat mampu mengirimkan data secara stabil hingga jarak kurang dari 12 meter dari access point tanpa

hambatan fisik. Ketika sudah melebihi jarak 12 meter, maka akan terdapat sedikit delay bahkan hingga terputus sesekali ketika di jarak 16 meter keatas. Dan ketika berada di jarak 24 meter keatas ini perangkat akan terputus karena sudah berada di luar jangkauan WiFi. Hal ini bisa diatasi selama alat masih tersambung dengan WiFi dan menyala. Perangkat hanya membutuhkan internet, entah itu kuota internet atau tersambung dengan WiFi yang berbeda dengan alatnya. Cara ini bisa mengatasi jarak yang terbatas ketika menggunakan satu koneksi WiFi yang sama dengan alat. Pada aplikasi BLYNK yang gratis memiliki batas komunikasi data sebanyak 30 ribu kali pengiriman data perbulannya. Sehingga perlu dilakukan reset sebulan sekali untuk dapat digunakan.

5.1.1.6. Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo dilakukan sebagai upaya evaluasi kinerja motor servo dalam alat ini. Dimana fungsi dari motor servo sendiri yaitu untuk kendali parameter nilai tetesan cairan infus. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan derajat motor servo mulai dari 40-50 derajat. Data disajikan dalam tabel 5.6 berikut ini:

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Motor Servo

No	Derajat Sudut Servo (°)	Penguji an 1	Penguji an 2	Penguji an 3	Penguji an 4	Penguji an 5	Rata-rata
1	50	0	0	0	0	0	0
2	49	0	0	0	0	0	0
3	48	0	0	0	0	0	0
4	47	14	13	13	15	14	13,8
5	46	16	14	14	18	15	15,4
6	45	38	36	37	37	39	37,4
7	44	50	48	49	49	47	48,6
8	43	59	69	65	56	67	63,2
9	42	61	72	72	69	70	68,8
10	41	123	131	136	143	138	134,2
11	40	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.8 Perhitungan Pengujian Motor Servo

No	Sudut Servo (°)	Rata-rata	Error (%)	Akurasi (%)	Deviasi (%)
1	50	0	100	0	100
2	49	0	100	0	100
3	48	0	100	0	100
4	47	13,8	89,70	10,30	89,70
5	46	15,4	88,50	11,50	88,50
6	45	37,4	72,10	27,90	72,10
7	44	48,6	63,80	36,20	63,80
8	43	63,2	52,90	47,10	52,90
9	42	68,8	48,70	51,30	48,70
10	41	134,2	0	100	0
11	40	-	-	-	-

Karena tidak ada nilai referensi teoritis, nilai maksimum dan nilai target diambil sebagai acuan, nilai target adalah titik tertinggi (pada derajat 41) = 134,2.

$$\text{Error}\% = \frac{|\text{Nilai Refrensi} - \text{Ratarata}|}{\text{Nilai Refrensi}} \times 100\%$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left(\frac{|47 - 13,8|}{47} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{33,2}{47} \right) \times 100 = 89,70\% \end{aligned}$$

$$\text{Persentase Akurasi} = 100\% - \text{Error}.$$

Perhitungan :

$$\text{Akurasi} = 100\% - 89,70\% = 10,3\%$$

$$\text{Deviasi} = 100\% - \text{Akurasi}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Deviasi} &= 100\% - 10,3\% \\ &= 89,70\%\end{aligned}$$

Dari hasil pengujian sebanyak 5 kali dengan nilai derajat sudut servo yang berbeda-beda mulai dari 40-50 derajat. Perbedaan nilai TPM pada setiap pengujian dipengaruhi motor servo yang kurang bagus analisa lain dikarenakan oleh tegangan input dan mekanik putaran pada servo. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan motor servo dalam alat ini berfungsi namun kurang dalam akurasi dan presisi.

5.2. Analisis Dampak Implementasi

Setelah sistem kendali dan monitoring infus ini berhasil diimplementasikan pada Rumah Sakit, diperoleh dampak positif di berbagai aspek. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi kerja perawat, mengurangi risiko keterlambatan penggantian infus, serta meningkatkan keselamatan pasien. Sistem juga dapat menurunkan beban kerja perawat, terutama pada jam-jam sibuk. Berikut adalah dampak implementasi sistem yang dikaji dari berbagai bidang:

5.2.1. Bidang Teknologi

Penerapan sistem ini menunjukkan bahwa teknologi onitoring kendali dan Internet of Things (IoT) dapat diadaptasi secara efektif di sektor kesehatan. Dengan menggunakan alat dari sistem yang ada, alat mampu memberikan nilai presisi monitoring tetesan infus dan waktu yang akurat kapan infus akan habis. Hal ini menunjukkan bahwa alat sederhana dengan teknologi terintegrasi dapat membantu sistem konvensional yang sudah ada.

Kelebihan lainnya adalah kemampuan sistem untuk mengirimkan data secara real-time ke aplikasi Blynk, yang memungkinkan pemantauan dilakukan dari jarak yang jauh sekalipun melalui smartphone dan laptop.

5.2.2. Bidang Sosial

Dari sisi sosial, alat ini memberikan dampak langsung kepada para perawat yang ada. Dengan bantuan kendali dan monitoring infus dari jarak jauh, perawat jadi tidak perlu memeriksa ke kamar pasien secara berkala. Sehingga waktu dan tenaga dapat dialihkan ke aktivitas lain. Dan dari sisi pasien, dengan adanya alat ini pasien bisa lebih istirahat maksimal karena tidak terganggu dengan keluar masuknya perawat.

5.2.3. Bidang Ekonomi

Secara ekonomi, dampak yang dihasilkan dari penggunaan sistem ini tidak terlalu signifikan. Dengan adanya sistem ini, perawat jadi bisa membantu melakukan pekerjaan lain. Dimana dengan membantu pekerjaan lain maka produktivitas akan meningkat dan akan menghasilkan profit yang lebih. Bila sistem ini diterapkan di klinik atau puskesmas, juga bisa membantu mengurangi tenaga kerja yang dipakai. Dari sisi investasi, alat ini membutuhkan modal awal namun biaya yang dibutuhkan masih tergolong cukup murah.

5.2.4. Bidang Lingkungan

Dampak lingkungan juga menjadi bagian penting dalam implementasi sistem ini. Dengan menggunakan sistem monitoring infus, infus yang dipakai jadi bisa hingga benar-benar habis tanpa sisa. Hal ini bisa mengurangi limbah dari infus-infus yang tidak terpakai habis.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat, berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil:

1. Pengujian fungsional userinterface sistem alat berjalan dengan baik sehingga dapat disimpulkan dapat berjalan dengan baik.
2. Pengujian sensor *optocoupler* memiliki akurasi rata rata sebesar 94,69% dan sensor *load cell* memiliki rata rata akurasi 99,59% sehingga dapat dikatakan akurat.
3. Pengujian jarak koneksi alat dengan wifi memiliki jarak maksimal dapat tersambung wifi dengan jarak 24 meter.
4. Pengujian daya tahan baterai setelah dilakukan pengujian dan perhitungan didapatkan baterai dapat bertahan selama 53,7 jam
5. Pengujian motor servo menunjukkan sistem aktuator kurang baik dengan nilai rata rata tetesan masih belum presisi.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian, pengujian data, dan analisis yang telah dilakukan, agar sistem dapat lebih optimal dan adaptif terhadap kebutuhan di lapangan, beberapa saran pengembangan ke depan antara lain:

1. Alat ini memiliki kekurangan pada sistem kendali yang kurang presisi dimana kendali tetesan belum stabil dan perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut.
2. Diperlukan pengembangan aplikasi sendiri agar alat dapat bekerja secara maksimal dan sesuai.
3. Perlu dilakukan pengujian lembaga medis untuk keteknisan agar alat ini dapat lolos uji penggunaan.
4. Pergantian sistem mekanik motor servo yang bagus agar nilai kendali TPM memiliki akurasi dan presisi yang baik.

5. Pembuatan papan PCB yang sesuai dengan alat agar alat lebih simple dan efisien.
6. Desain 3D perlu diperbaiki agar alat memiliki tampilan yang baik dan menarik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ruslan Agussalim, Adnan, and Muh. Niswar, "Monitoring Cairan Infus Berdasarkan Indikator Kondisi Dan Laju Cairan Infus Menggunakan Jaringan Wifi," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 8, no. 3, pp. 145–152, Dec. 2016.
- [2] Hajrah, "Portable Monitoring Sistem Infus Otomatis Berbasis Mikrokontroller Dan Cloud Storage," *Hasanuddin University Repository*, 2020, [Online]. Available: <https://repository.unhas.ac.id/>
- [3] M. Riva Fadilah and D. Hirawan, "Sistem Monitoring Infus Pasien Di Rumah Sakit Ibu Dan Anak Mutiara Hati Berbasis Internet Of Things," *Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia*, 2019, [Online]. Available: <http://elibrary.unikom.ac.id/>
- [4] N. Muljodipo, S. R. U. A. Sompie, R. F. Robot, and M. Eng, "Rancang Bangun Otomatis Sistem Infus Pasien," *Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 4, 2015.
- [5] A. Setiawan, I. Nawawi, and H. Teguh Setiawan, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Smart Infusion," *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 3, no. 3, 2024.
- [6] T. Dewi Hendrawati and R. Aditya Ruswandi, "Sistem pemantauan tetesan cairan infus berbasis Internet of Things," *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, vol. 1, no. 1, pp. 25–32, 2021, doi: 10.35313/jitel.v1.i1.2021.25-32.
- [7] K. Hidayati and R. B. Barwaqah, "Monitoring Cairan Infus Secara Realtime," *JISA (Jurnal Informatika dan Sains)*, vol. 01, no. 02, 2018.
- [8] Hasanuddin Muhamad, "Sistem Monitoring Infus Menggunakan Arduino Mega 2560," *Universitas Islam Negeri Alauddin*, vol. 4, pp. 9–15, Jun. 2017.

- [9] A. Eko Prasetyo, A. Arifia, F. Amaluddin, and A. Haryoko, “Riset Teknik Informatika dan Komputer Monitoring Aliran Infus Pasien Macet Di Ruang Perawat Menggunakan Nrf Wireless Communication,” *Jurnal Restikom*, vol. 2, no. 3, pp. 127–142, 2020.
- [10] G. Priyandoko, D. Siswanto, and I. I. Kurniawan, “Rancang Bangun Sistem Portable Monitoring Infus Berbasis Internet of Things,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 2, Jul. 2021.
- [11] Heru Heru and Fitria Priyulida, “Rancang Bangun Sistem Nurse Call Terhadap Kegagalan Infuse Pump Menggunakan Mikrokontroler ATmega8535,” *Jurnal Mutiara Elektromedik*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [12] P. A. Rosyady *et al.*, “Monitoring Cairan Infus Menggunakan Load Cell Berbasis Internet of Things (IoT),” *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 22, no. 1, pp. 97–110, 2023.
- [13] R. T. Yunardi, D. Setiawan, F. Maulina, and T. A. Prijo, “Pengembangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Tetesan Cairan Infus Otomatis Berbasis Labview dengan Logika Fuzzy,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 403–410, Oct. 2018, doi: 10.25126/jtiik.201854766.
- [14] Firmansyah MSN, Azis Muhajar, Abdul Chobir, and Andri Ulus Rahayu, “Sistem Kendali dan Monitoring Infus Berbasis Internet of Things,” *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 6, pp. 10–16, Jun. 2022, doi: 10.30871/jaee.v6i1.4017.
- [15] Agustinus Lukito Sanjoyo, “Alat Pemantau Volume Infus Menggunakan Load Cell Berbasis Internet Of Things (IOT),” 2024. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/34091>
- [16] Mediaperawat.id, “Jenis Cairan Infus.” [Online]. Available: <https://mediaperawat.id/jenis-cairan-infus/>

- [17] NN Digital, "Tutorial Penggunaan HX711 dan Loadcell / Load Cell dengan Arduino UNO," NN Digital. [Online]. Available: <https://www.nn-digital.com/blog/2019/06/06/tutorial-penggunaan-hx711-dan-loadcell-load-cell-dengan-arduino-uno/>
- [18] Elga Aris Prastyo, "Sensor Infrared (IR) Proximity FC-51," Edukasi Elektronika. [Online]. Available: <https://www.edukasielektronika.com/2020/09/sensor-infrared-ir-proximity-fc-51.html>
- [19] D. Sasmoko and Y. Arief Wicaksono, "Implementasi Penerapan Internet Of Things (IoT) Pada Monitoring Infus Menggunakan ESP 8266 dan Web Untuk Berbagi Data," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 2, pp. 90–98, 2017, doi: 10.35316/jimi.v2i1.458.
- [20] Elga Aris Prastyo, "Perbandingan Mikrokontroler ESP32 Vs Raspberry Pi Pico," Arduino Indonesia. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2024/08/perbandingan-mikrokontroler-esp32-vs-raspberry-pi-pico.html>
- [21] Handson Technology, "ESP32 Expansion Board," pp. 1–7, [Online]. Available: www.handsontec.com
- [22] Muhammad Habib Al Khairi, "Motor Servo: Pengertian, Cara Kerja, Kelebihan, Kekurangan dan Aplikasinya," Mahir Elektro . [Online]. Available: <https://www.mahirelektro.com/2021/01/pengertian-dan-cara-kontrol-motor-servo-arduino.html>
- [23] Ewelift, "Aktuator Linear Motor DC Kecil," <https://id.linearelectricactuator.com/>. [Online]. Available: <https://id.linearelectricactuator.com/linear-actuator/mini-linear-actuator/small-dc-motor-linear-actuator.html>
- [24] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, Apr. 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v9i2.50082.

- [25] ftmm unair, “Metal Oxide Composite Baterai Lithium-Ion Untuk Proses Charging Cepat,” <https://ftmm.unair.ac.id/>. [Online]. Available: <https://ftmm.unair.ac.id/metal-oxide-composite-baterai-lithium-ion-untuk-proses-charging-cepat/>
- [26] A. U. Rahayu, “Sistem Monitoring Perilaku Pengendara Mobil Berbasis Internet of Things,” *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, vol. 5, no. 01, pp. 18–24, Mar. 2021, doi: 10.25077/jitce.5.01.18-24.2021.
- [27] P. U. Rakhmawati, Rizdania, and Sumantri, “Analisis Komunikasi Platform Internet of Things Aplikasi Blynk,” *Seminar Nasional Teknoka*, vol. 9, no. 2502, p. 2024, 2024.
- [28] A. Hernawan, “Comparative Performance Testing of the Impact of ACK Loss in TCP Tahoe, TCP Reno, and TCP New Reno on the ns-2 Simulator,” *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 91–101, 2023, doi: 10.31289/jite.v7i1.9542.
- [29] Rudy Adipranata, “Implementasi Protokol Tcp/Ip Untuk Pengendalian Komputer Jarak Jauh,” *Jurnal Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 30–36, 2002, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/inf/article/view/15814>
- [30] A. Rachman Manga and D. Indra, “Sistem Monitoring Infus Menggunakan ESP8266,” *Jurnal Ilmiah Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 118–123, 2020.