

Analisis Keandalan Transmisi GSM pada Telemetri Tekanan Air di Wilayah Terbatas Internet

Diky Siswanto^{1*}, Machmud Effendy², Dufie Mehta Zein³, Gigih Priyandoko⁴

^{1,2} Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Widya Gama Malang, Jl. Taman Borobudur Indah 3 Malang

³ Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang

Email: *dsiswanto@widyagama.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstract— *Water pressure telemetry systems are vital for ensuring reliable distribution, particularly in regions with limited conventional Internet infrastructure. This research focuses on the design and implementation of a cellular-based (GSM) communication sub-system using the GSM (SIM800L) module, integrated with a pressure sensor, microcontroller, data logger, and a web-based dashboard. Field performance evaluations were conducted at critical distribution points from mid-March to early April. The evaluation parameters included operating voltage stability, Received Signal Strength Indicator (RSSI) quality, data transmission success rate, and pressure measurement accuracy compared to manual manometers. Experimental results demonstrated that the GSM module maintained stable operation with an average voltage of 4.49 Volt and an average signal strength of -72.75 dBm, categorized as a "good" signal level. The system achieved continuous data transmission without significant packet loss. Furthermore, pressure measurements showed an average of 1.18 bar and a minimum value of 0.56 bar, which consistently exceeds the minimum service standards for water distribution networks. The findings conclude that this GSM-based telemetry provides a robust, dependable, and scalable solution for real-time monitoring in Internet blind spots, supporting efficient utility management in remote environments. This study provides a practical prototype and a real-world quantitative evaluation of GSM-based telemetry reliability for water pressure monitoring in Internet-constrained environments.*

Intisari— Sistem telemetri tekanan air berperan penting dalam menjaga keandalan distribusi, khususnya pada wilayah dengan keterbatasan infrastruktur Internet konvensional. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sub-sistem transmisi data berbasis seluler menggunakan modul GSM (SIM800L) yang terintegrasi dengan sensor tekanan, mikrokontroler, data logger, dan dasbor pemantauan berbasis web. Pengujian lapangan dilakukan pada titik kritis jaringan distribusi selama periode pertengahan Maret hingga awal April. Parameter evaluasi meliputi kestabilan tegangan kerja, kualitas sinyal (*Received Signal Strength Indicator*/RSSI), keberhasilan transmisi data (*success rate*), dan akurasi pengukuran tekanan dibandingkan manometer lapangan. Hasil penelitian menunjukkan modul GSM beroperasi stabil dengan tegangan rata-rata 4,49 Volt dan kualitas sinyal rata-rata -72,75 dBm (kategori baik). Sistem berhasil melakukan transmisi data secara kontinu tanpa kehilangan paket data yang signifikan. Pengukuran tekanan menghasilkan nilai rata-rata 1,18 bar dan nilai minimum 0,56 bar, yang tetap berada di atas standar pelayanan minimum jaringan distribusi air. Arsitektur sistem ini terbukti *scalable* dan andal sebagai solusi telemetri real-time pada area "*Internet blind spot*", sehingga mendukung manajemen utilitas air yang lebih efisien di lingkungan terpencil. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa prototipe praktis serta evaluasi kuantitatif keandalan telemetri berbasis GSM

pada kondisi implementasi nyata di lingkungan dengan keterbatasan konektivitas Internet.

Kata Kunci— Telemetri GSM, Tekanan air, *Internet blind spot*, SIM800L, *Internet of Things* (IoT).

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan jaringan distribusi air bersih merupakan komponen fundamental dalam sistem penyediaan air minum (SPAM) guna menjamin kontinuitas pelayanan dan pemenuhan standar tekanan bagi pelanggan. Tekanan air pada titik-titik kritis (*critical points*, CPs) menjadi parameter utama kinerja hidrolis, karena merepresentasikan kemampuan sistem dalam melayani area dengan elevasi tertinggi atau jarak terjauh dari sumber [1]. Ketidakterkendalian tekanan, baik berupa tekanan rendah maupun tekanan berlebih, berdampak sistematis pada peningkatan angka kehilangan air (*non-revenue water*/NRW) serta risiko kerusakan infrastruktur perpipaan [2].

Seiring berkembangnya teknologi monitoring, penerapan Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi digital pada sektor utilitas air melalui penggunaan sensor tekanan terdistribusi. Namun demikian, tantangan utama bagi operator penyedia air, seperti Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, terletak pada pemilihan teknologi transmisi data yang mampu menyeimbangkan aspek biaya operasional, jangkauan sinyal, keandalan transmisi, dan kemudahan pemeliharaan. Sistem telemetri tekanan air yang ideal dituntut mampu beroperasi secara mandiri, khususnya pada area dengan keterbatasan konektivitas internet konvensional.

Beberapa penelitian terdahulu mengimplementasikan sistem monitoring berbasis Wi-Fi, namun teknologi ini memiliki keterbatasan signifikan dari sisi jangkauan transmisi, terutama ketika sensor ditempatkan di dalam boks beton bawah tanah atau pada lingkungan perkotaan dengan kepadatan bangunan tinggi [3], [4]. Ketergantungan terhadap infrastruktur jaringan lokal menyebabkan sistem berbasis Wi-Fi kurang aplikatif untuk pemantauan jaringan distribusi air berskala luas dan rentan terhadap gangguan pada area yang mengalami *Internet blind spot*.

Alternatif lain yang banyak dikaji adalah teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) seperti LoRaWAN. Meskipun unggul dari sisi konsumsi daya, efektivitas LoRaWAN sangat dipengaruhi oleh kondisi *line of sight* (LoS) dan karakteristik lingkungan [5]. Pada wilayah dengan topografi berbukit dan kepadatan bangunan tinggi seperti Kota

Malang, implementasi LoRaWAN memerlukan banyak *gateway* untuk mengatasi atenuasi sinyal. Hal ini meningkatkan kompleksitas dan biaya sistem [6].

Dalam konteks tersebut, teknologi *Global System for Mobile Communication* (GSM) berbasis jaringan seluler 2G menawarkan pendekatan yang lebih pragmatis. Jaringan GSM memiliki cakupan luas dan infrastruktur yang telah mapan, dengan kemampuan penetrasi sinyal yang relatif lebih baik pada lingkungan tertutup dibandingkan teknologi berbasis frekuensi tinggi [7], [8], [9].

Modul GSM seperti SIM800L juga bersifat *cost-effective* untuk implementasi masif pada sistem District Meter Area (DMA), tanpa memerlukan investasi tambahan berupa *gateway* khusus. Pada Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, setiap DMA memiliki satu CP yang berfungsi sebagai indikator representatif kinerja hidraulik zona tersebut, sehingga pemantauan tekanan secara *real-time* pada CP menjadi krusial untuk menjamin standar pelayanan minimum sebesar 0,5 bar [10]. Namun, keterbatasan jumlah data logger pada kondisi eksisting menunjukkan perlunya solusi monitoring yang ekonomis dan andal.

Dalam konteks implementasi sistem telemetri tekanan air di lapangan, aspek keandalan komunikasi menjadi faktor krusial yang menentukan keberhasilan sistem secara keseluruhan. Meskipun berbagai studi telah membahas penerapan IoT pada sektor air minum [11], [12], [13], [14], sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek fungsional sensor [15] atau pemantauan kualitas air [16]. Penelitian sebelumnya belum memberikan evaluasi kuantitatif yang komprehensif terkait keandalan komunikasi GSM pada implementasi nyata di jaringan distribusi air [8], [17], [18]. Oleh karena itu, terdapat celah penelitian terkait analisis performa komunikasi GSM dalam konteks operasional jaringan distribusi air perkotaan yang kompleks.

Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya belum mengkaji secara komprehensif parameter kualitas transmisi data pada implementasi nyata, khususnya pada kondisi lingkungan dengan konektivitas terbatas. Parameter seperti kualitas sinyal (RSSI), *success rate*, serta indikasi *packet loss* menjadi indikator utama dalam menilai keandalan sistem telemetri berbasis jaringan seluler.

Meskipun parameter seperti *delay* dan *throughput* tidak menjadi fokus utama sistem monitoring berbasis periodik ini, analisis performa komunikasi tetap mempertimbangkan implikasi temporal terhadap keterlambatan transmisi data dalam konteks monitoring *real-time*.

Penelitian ini memberikan kontribusi empiris dalam evaluasi keandalan komunikasi GSM pada kondisi operasional nyata, yang meliputi:

1. evaluasi keandalan komunikasi GSM pada implementasi telemetri tekanan air dalam kondisi *real deployment* pada wilayah dengan area *Internet blind spot*,
2. analisis hubungan antara kualitas sinyal (RSSI) terhadap keberhasilan pengiriman data,
3. pengukuran performa komunikasi berdasarkan parameter kuantitatif meliputi *success rate* transmisi data dan kontinuitas transmisi data, serta
4. stabilitas suplai daya mandiri berbasis sistem sel surya.

Berbeda dengan implementasi telemetri konvensional, sistem yang dikembangkan divalidasi melalui pengukuran tekanan menggunakan manometer analog standar industri untuk menjamin akurasi data yang dikirimkan ke dasbor pemantauan [19]. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keandalan komunikasi GSM pada sistem telemetri tekanan air berbasis implementasi nyata. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pemilihan infrastruktur komunikasi yang efisien dan andal untuk sistem telemetri pada area dengan keterbatasan konektivitas dengan mempertimbangkan aspek *scalability* untuk implementasi skala luas pada sistem SPAM.

II. METODE PENELITIAN

Fokus utama penelitian ini adalah evaluasi keandalan komunikasi GSM sebagai komponen kritis sistem telemetri. Parameter evaluasi direpresentasikan melalui parameter RSSI, *success rate* transmisi, dan kontinuitas data. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan pendekatan eksperimental terapan (*applied experimental research*) yang mencakup perancangan, implementasi, dan evaluasi kinerja sistem komunikasi berbasis IoT pada jaringan distribusi air minum.

Metodologi penelitian disusun secara berurutan dan sistematis, meliputi: (i) pemilihan media transmisi data, (ii) perancangan modul komunikasi, (iii) pengujian lapangan, dan (iv) evaluasi kinerja sistem. Alur metodologi penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.

Berbeda dengan penelitian IoT water monitoring yang umumnya berfokus pada aspek sensor dan akuisisi data, penelitian ini secara khusus mengevaluasi keandalan komunikasi dalam kondisi operasional nyata melalui pengukuran parameter RSSI, keberhasilan transmisi data, dan kontinuitas komunikasi pada kondisi operasional nyata. Sistem juga divalidasi melalui implementasi langsung pada jaringan distribusi air aktif, sehingga memberikan representasi performa yang lebih realistis dibandingkan pengujian laboratorium.

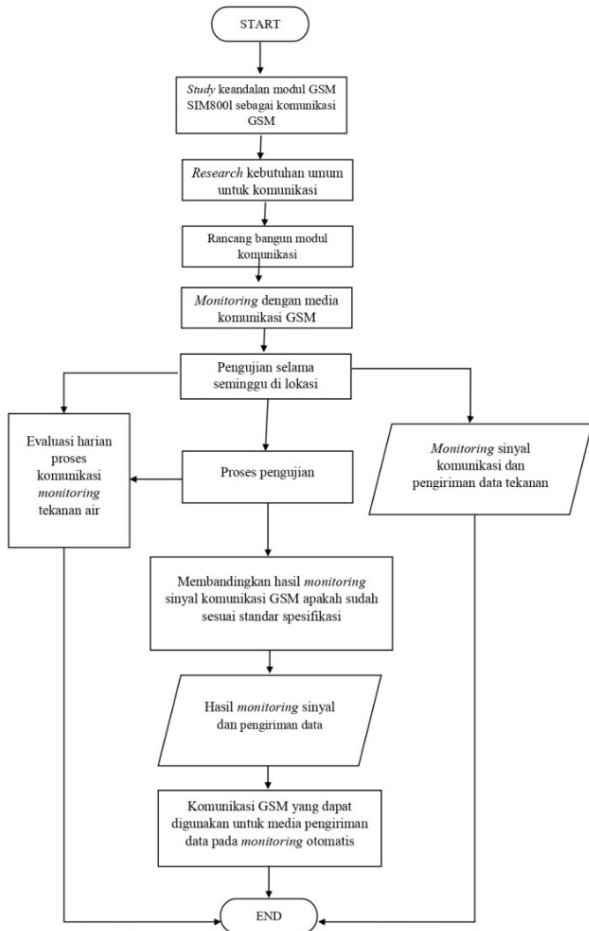
A. Pemilihan Media Transmisi Data

Tahap awal penelitian difokuskan pada pemilihan teknologi transmisi data yang paling sesuai dengan karakteristik operasional sistem telemetri. Proses ini dilakukan melalui studi literatur terkini dan survei lapangan, dengan mempertimbangkan parameter jangkauan komunikasi, ketergantungan terhadap infrastruktur jaringan, konsumsi daya, serta biaya implementasi [14].

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa modul Wi-Fi banyak digunakan pada aplikasi IoT karena kemudahan integrasi dan biaya perangkat yang relatif rendah [20]. Wi-Fi memiliki keterbatasan berupa jangkauan komunikasi yang pendek dan ketergantungan tinggi terhadap infrastruktur jaringan lokal, sehingga kurang sesuai untuk implementasi pada jaringan distribusi air berskala luas.

Survei lapangan yang dilakukan pada infrastruktur jaringan distribusi Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang menunjukkan bahwa sebagian besar titik kritis pemantauan tekanan air berada pada area dengan ketersediaan sinyal Wi-Fi yang terbatas atau tidak tersedia (*Internet blind spot*). Kondisi ini menyebabkan sistem komunikasi berbasis Wi-Fi tidak

layak untuk diimplementasikan secara masif pada seluruh titik pemantauan.



Gambar. 1 Diagram alir metode penelitian.

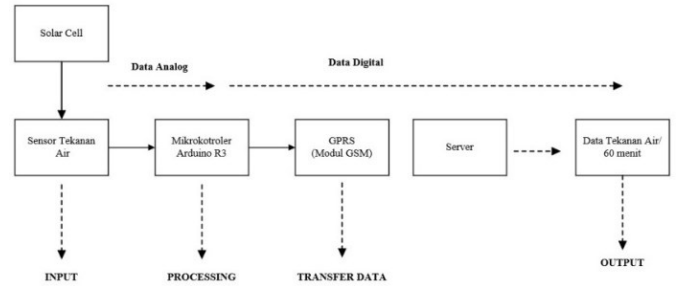
Sebagai alternatif, penelitian ini mengkaji penggunaan modul GSM. Pemilihan teknologi GSM didasarkan pada cakupan jaringan yang luas dan kemampuan penetrasi sinyal yang lebih baik pada lingkungan urban padat [16]. Berdasarkan pertimbangan tersebut, modul SIM800L dipilih sebagai media komunikasi utama karena independensinya terhadap infrastruktur Internet lokal, kompatibilitas dengan sistem berdaya rendah, serta kesesuaiannya dengan kondisi geografis dan topografi wilayah layanan Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang.

B. Perancangan Modul Transmisi Data dan Instrumentasi

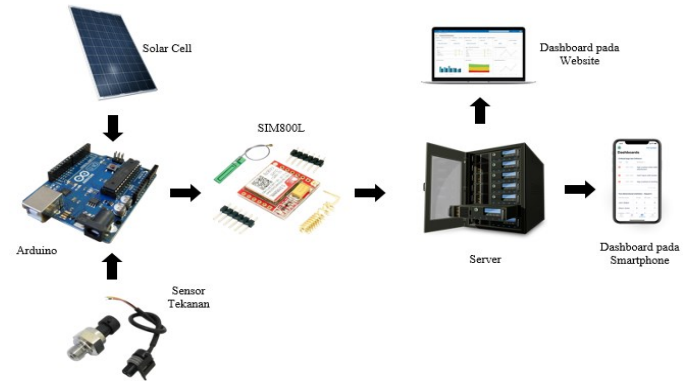
Sistem yang dikembangkan dirancang menggunakan arsitektur *low-power* yang mengintegrasikan tiga unit utama: unit akuisisi data, unit pemrosesan, dan unit transmisi.

1) Gambaran Sistem

Proses transmisi data ke server dilakukan oleh modul SIM800L melalui jaringan GSM/GPRS. Modul ini dipilih karena memiliki dimensi fisik yang kompak (24 × 24 × 3 mm³) serta konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga sesuai untuk sistem berbasis energi terbarukan [21]. Diagram blok sistem dan skema rangkaian elektronik masing-masing disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Diagram blok sistem



Gambar 3. Skema rangkaian sistem

Data dari modul dikirim ke server, disimpan pada basis data terpusat, dan divisualisasikan melalui dasbor berbasis web secara real-time. Alur pengiriman dan pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 4.

2) Unit Pemrosesan (Mikrokontroler)

Unit pemrosesan inti menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 berbasis ATmega328P dengan 10-bit Analog-to-Digital Converter (ADC) untuk mengonversi sinyal analog sensor tekanan menjadi data digital dengan resolusi 4,88 mV.

3) Instrumentasi Sensor Tekanan

Sensor yang digunakan adalah *Pressure Transducer type G1/4"* dengan elemen sensor berbasis film tipis *piezoresistive* dengan rentang pengukuran 0–10 bar (0–1,0 MPa), tegangan input 5V DC dan luaran sinyal linier antara 0,5V hingga 4,5V DC. Karakteristik transfer sensor didefinisikan sebagai [22]:

$$P = \frac{(V_{out} - V_{min}) \times P_{max}}{V_{max} - V_{min}} \tag{1}$$

dengan P merepresentasikan tekanan air (bar), V_{out} adalah tegangan luaran sensor, dan $V_{min} - V_{max}$ mendefinisikan interval tegangan terkalibrasi.

4) Modul Transmisi Data

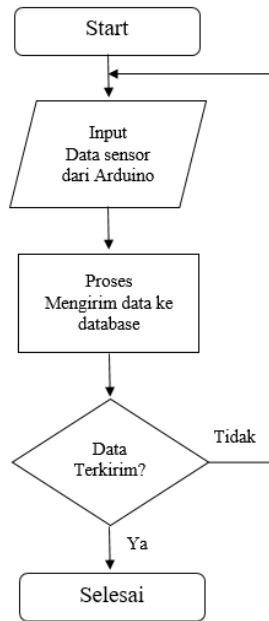
Transmisi data menggunakan modul SIM800L GSM/GPRS, yang beroperasi pada frekuensi *quad-band* (850/900/1800/1900 MHz) dan mendukung transmisi data GPRS kelas 12. Komunikasi dilakukan via UART dengan kecepatan *baud rate* 9600 bps [21].

5) Manajemen Daya dan Energi

Sistem ditenagai oleh *Photovoltaic (PV) system* 50 Wp dan baterai *Deep Cycle* 12V 20 Ah. *Buck converter* digunakan untuk regulasi tegangan ke 4,2 Volt DC guna mendukung *burst current* modul GSM [10].

C. Pengujian Lapangan

Uji coba dilakukan di Perum Bukit Dieng, Kota Malang, pada pertengahan Maret hingga awal April 2024. Data tekanan dikirimkan ke server secara berkala dan divisualisasikan melalui dasbor web untuk memantau nilai RSSI, tegangan, dan tekanan air.



Gambar 4. Flowchart rancang bangun modul komunikasi SIM800L

D. Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan lima aspek utama, yaitu: (1) stabilitas tegangan suplai, (2) kualitas sinyal GSM (RSSI) dan keandalan transmisi, (3) profil tekanan jaringan, (4) kinerja sistem informasi web, dan (5) performa sistem secara keseluruhan, untuk menilai kelayakan teknis serta potensi implementasi sistem sebagai pengganti metode pencatatan manual.

Pengujian kestabilan koneksi dilakukan dari pertengahan Maret hingga awal April untuk merepresentasikan variasi kondisi jaringan seluler dan faktor lingkungan. Selama periode tersebut, sistem dikonfigurasi untuk melakukan akuisisi dan transmisi data tekanan air secara kontinu sesuai interval waktu yang telah ditentukan.

Success rate dihitung sebagai rasio antara jumlah data yang berhasil diterima server terhadap jumlah data yang dikirimkan oleh node sensor selama periode pengujian, yang bisa dirumuskan sebagai berikut [23]:

$$success\ rate\ (\%) = \frac{jumlah\ data\ diterima}{jumlah\ data\ dikirim} \times 100\% \quad (2)$$

Indikasi *packet loss* dianalisis berdasarkan kontinuitas data yang diterima pada interval waktu yang telah ditentukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja modul komunikasi dilakukan melalui serangkaian pengujian lapangan dari pertengahan Maret hingga awal April, terhitung mulai tanggal 16 Maret 2024 hingga 2 April 2024. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi keandalan perangkat keras, kualitas transmisi data, serta akurasi pengukuran tekanan air pada jaringan distribusi Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. Hasil evaluasi disajikan berdasarkan lima aspek utama yang telah ditetapkan pada metode penelitian, yaitu stabilitas tegangan suplai, kualitas sinyal GSM, profil tekanan air, kinerja sistem informasi, dan performa sistem secara keseluruhan.

A. Stabilitas Tegangan Suplai

Kestabilan tegangan suplai modul transmisi data merupakan parameter kritis untuk menjamin kontinuitas transmisi data pada modul GSM (SIM800L). Berdasarkan spesifikasi teknis, modul ini membutuhkan tegangan operasional pada rentang 3,4 – 4,4 Volt [21].

Pengujian tegangan suplai berfungsi untuk melihat apakah tegangan luaran dari *buck converter* yang diumpangkan ke Modul GSM sudah sesuai dengan standar spesifikasi dari kebutuhan alat. Peralatan yang digunakan untuk uji tegangan ini adalah rangkaian sistem monitoring dan alat ukur AVO-meter seperti pada Gambar 5.



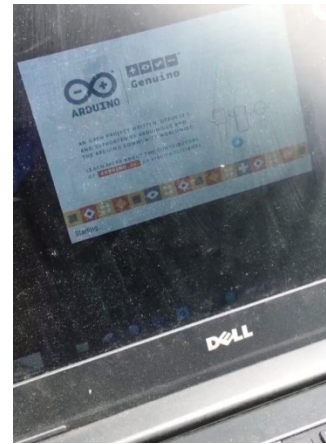
Gambar 5. Proses pengujian tegangan suplai modul GSM

Hasil pengukuran tegangan suplai modul GSM selama periode pengujian disajikan pada Tabel 1. Data menunjukkan bahwa tegangan rata-rata yang terukur adalah 4,49 Volt, dengan fluktuasi minimum 4,46 Volt dan maksimum 4,50 Volt. Hal ini bisa disebabkan oleh tegangan luaran panel surya berfluktuasi akibat perubahan kondisi cuaca. Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata tegangan suplai untuk modul GSM sebesar 4,49 Volt, melebihi besaran tegangan yang ditetapkan saat perancangan (4,2 Volt).

Secara teknis, nilai tegangan ini berada dalam kategori sangat stabil dan aman, mengingat spesifikasi aman modul berada pada interval 3,4 – 4,4 Volt [21]. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa modul catu daya berbasis panel surya mampu menyuplai daya yang memadai untuk operasional mikrokontroler dan modem GSM secara berkelanjutan tanpa mengalami *voltage drop* yang signifikan.

Tabel 1. Statistik hasil pengukuran tegangan suplai modul GSM pada pengujian tahap awal

Tanggal	Tegangan
	Satuan (Volt)
2024-03-16 10:00	4,49
2024-03-16 16:00	4,49
2024-03-17 11:10	4,50
2024-03-18 15:01	4,48
2024-03-19 14:00	4,46
2024-03-20 09:00	4,48
2024-03-21 12:40	4,49
2024-03-22 10:40	4,50
Rata-rata	4,49



(c)

B. Kualitas Sinyal GSM (RSSI) dan Keandalan Transmisi

Keberhasilan transmisi data (*success rate*) dari node sensor ke server sangat bergantung pada kualitas sinyal jaringan seluler di lokasi pemasangan. Parameter yang diukur adalah *Received Signal Strength Indication (RSSI)*.

Pengujian transmisi data bertujuan untuk menguji kekuatan sinyal pada saat transmisi data di lapangan, sehingga data bisa terkirim seluruhnya. Pengujian ini menggunakan aplikasi IDE Arduino, sistem yang sudah dirancang, dan menggunakan laptop. Pada Gambar 6 (a) menunjukkan alat yang terhubung ke laptop untuk proses pengujian transmisi data. Pada laptop tersebut sudah ada program arduino yang terbaca melalui aplikasi IDE Arduino seperti pada Gambar 6 (c), sedangkan hasil uji sesuai tampilan pada Gambar 6 (b).

Gambar 6. Proses Pengujian Kekuatan Sinyal GSM: (a) Scenario pengujian sinyal GSM; (b) Hasil pengujian pengiriman data menggunakan AT-Command; (c) Tampilan Arduino IDE pada *screen* laptop.

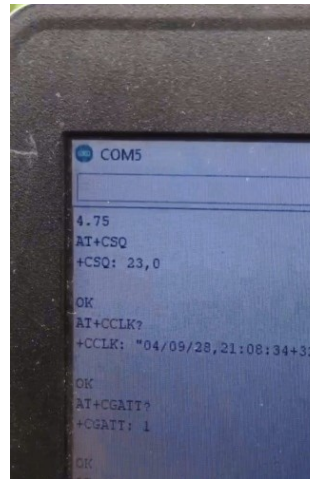
Hasil pengujian kekuatan sinyal selama satu minggu diringkaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik kekuatan sinyal GSM/GPRS pada pengujian tahap awal

Tanggal	Kekuatan Sinyal GSM/GPRS	
	RSSI	dBm
16/03/2024 10.00	20	-73
16/03/2024 16.00	21	-71
17/03/2024 11.10	20	-73
18/03/2024 15.01	21	-71
19/03/2024 14.00	18	-77
20/03/2024 09.00	20	-73
21/03/2024 12.40	20	-73
22/03/2024 10.40	21	-71
Rata-rata	20,13	-72,75



(a)

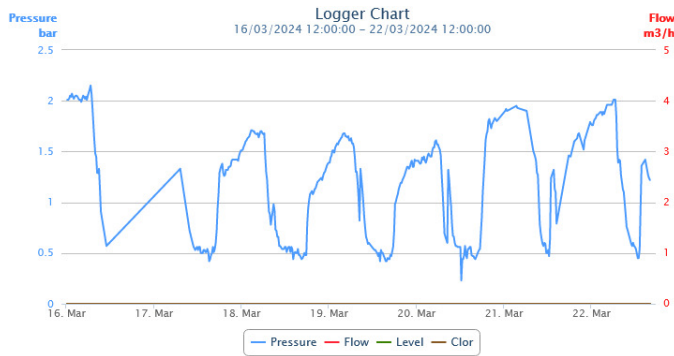


(b)

Rata-rata nilai RSSI yang diperoleh adalah 20,13, yang setara dengan -72,75 dBm. Berdasarkan standar kualitas sinyal jaringan seluler untuk aplikasi telemetri, nilai antara -85 dBm hingga -70 dBm dikategorikan sebagai "Baik" (*Good*) [18], yang digambarkan mampu mengirimkan data dengan kecepatan transfer baik [24]. Dengan kualitas sinyal tersebut, sistem terbukti mampu melakukan transmisi data *real-time* dengan tingkat keberhasilan transmisi yang tinggi. Kualitas sinyal yang berada pada rentang -85 hingga -70 dBm termasuk dalam kategori "Baik", yang merepresentasikan sinyal kuat dengan kecepatan data yang tinggi [25]. Kondisi tersebut mendukung keandalan sistem, yang ditunjukkan dengan tidak ditemukannya kegagalan transmisi selama periode pengujian (Tabel 2).

C. Analisis Profil Tekanan Air Jaringan Distribusi

Data tekanan air yang dikirimkan oleh sistem ke dasbor monitoring dianalisis untuk melihat profil hidrolis jaringan distribusi. Grafik fluktuasi tekanan air harian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik monitoring tekanan air

Berdasarkan data yang terhimpun, rata-rata tekanan air tercatat sebesar 1,18 bar, dengan tekanan maksimum mencapai 2,11 bar dan minimum 0,56 bar. Pola grafik menunjukkan fenomena hidrolis yang khas pada jaringan distribusi air [26], di mana tekanan berbanding terbalik dengan tingkat konsumsi air pelanggan [27].

1. Tekanan Maksimum (*Peak Pressure*): Terjadi pada malam hingga dini hari (*off-peak hours*) saat aktivitas penggunaan air oleh pelanggan minimal.
2. Tekanan Minimum: Terjadi pada siang hari (*peak hours*) seiring dengan tingginya permintaan air domestik.

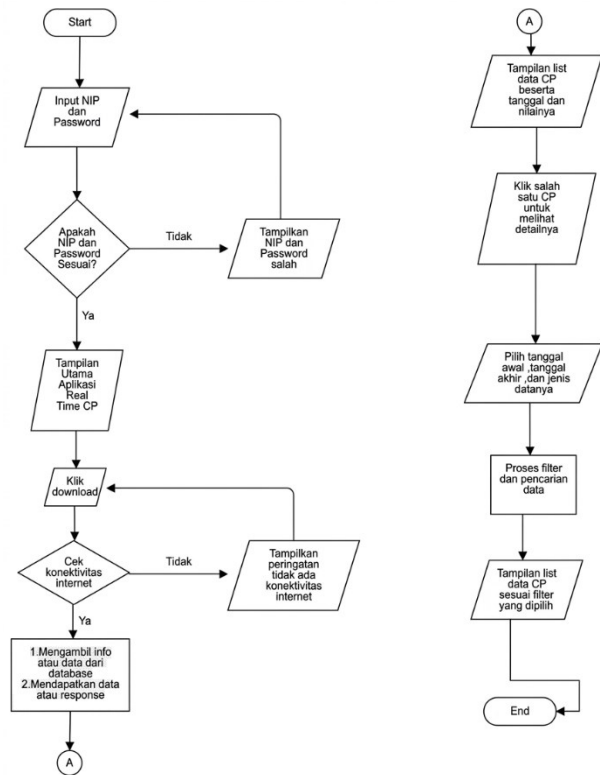
Data tekanan rata-rata 1,18 bar ini membantu Perumda Tugu Tirta dalam pengambilan keputusan nyata. Data ini bisa digunakan untuk mengatur pompa di hulu agar tidak terjadi pemborosan energi atau risiko pipa pecah.

Meskipun terjadi fluktuasi, nilai tekanan terendah (0,56 bar) masih berada di atas ambang batas minimum pelayanan yang ditetapkan oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, yaitu 0,5 bar [28]. Hal ini memvalidasi bahwa sensor yang dikembangkan memiliki sensitivitas yang baik dalam merekam dinamika tekanan jaringan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

D. Sistem Informasi Web

Data hasil monitoring divisualisasikan melalui aplikasi berbasis web yang dirancang untuk memudahkan operator dalam pengambilan keputusan teknis. Alur kerja aplikasi ditampilkan pada Gambar 8. Tampilan hasil uji monitoring disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, seluruh parameter pengujian—mulai dari tegangan luaran panel surya, kualitas sinyal (RSSI), hingga pembacaan sensor tekanan air—berada dalam kategori "Normal" dan memenuhi standar operasional. Hasil pengukuran tekanan air divalidasi dengan hasil pengukuran manometer di lapangan. Sistem terbukti mampu beroperasi secara mandiri dan *real-time*.



Gambar 8. Flowchart aplikasi monitoring menampilkan data *critical point*

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pemantauan Real-Time pada Periode Pengujian Akhir

Tanggal Uji	Tekanan Air (bar)	Kualitas Sinyal RSSI (dBm)	Tegangan Panel Surya (Volt)	Status & Analisis Teknis
28 Mar 2024	0,63	20 (-73 dBm)	23,78	Normal. Tekanan memenuhi SPM (>0,5 bar). Kualitas sinyal masuk kategori <i>Good</i> .
29 Mar 2024	0,80	21 (-71 dBm)	23,89	Normal. Peningkatan tekanan selaras dengan fluktuasi kebutuhan air. Sistem transmisi stabil.
02-Apr-2024	0,61	20 (-73 dBm)	19,22	Normal. Penurunan tegangan panel surya akibat kondisi cuaca (mendung), namun tetap mencukupi suplai sistem.

E. Evaluasi Kinerja Sistem

Implikasi dari hasil ini menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan layak (*feasible*) untuk diimplementasikan secara massal sebagai solusi pengganti pengukuran manual. Penggunaan teknologi ini berpotensi meningkatkan efisiensi operasional melalui deteksi dini anomali tekanan dan pemantauan distribusi air yang lebih transparan [29].

Rekapitulasi evaluasi kinerja sistem secara keseluruhan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Evaluasi Kinerja Sistem

Parameter yang divalidasi	Standar	Hasil Uji	Keterangan
Tegangan Modul GSM	3.7 – 5 Volt	4,49 Volt	dalam interval
Kekuatan Sinyal GSM	≥ 10 (-93dBm)	20,13 (-72,75 dBm)	lebih dari minimum
Tekanan Air	≥ 0,5 bar	1,18 bar	lebih dari minimum

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengevaluasi sistem telemetri tekanan air berbasis GSM pada wilayah dengan keterbatasan konektivitas Internet. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu beroperasi stabil dengan kualitas sinyal yang baik, serta mendukung transmisi data secara kontinu tanpa kehilangan paket yang signifikan. Selain itu, akurasi pengukuran tekanan memenuhi standar operasional jaringan distribusi air.

Sistem yang dikembangkan memberikan kontribusi praktis terhadap pengembangan telemetri SPAM, khususnya sebagai solusi monitoring real-time yang andal pada area *Internet blind spot*. Studi ini menunjukkan bahwa telemetri berbasis GSM dapat berfungsi sebagai solusi hemat biaya dan terukur untuk pemantauan *real-time* dalam sistem SPAM, terutama di wilayah dengan infrastruktur Internet yang terbatas.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang masih ada, beberapa saran pengembangan dapat diajukan sebagai berikut.

1. Integrasi sistem monitoring (seluruh titik *critical point-CP*) ke dalam platform terpusat dengan fitur analisis dan rekomendasi tindakan mitigasi.
2. Pengujian durabilitas sistem catu daya (*autonomy test*), khususnya pada kondisi minim sinar matahari.
3. Peningkatan keamanan komunikasi (MQTT/TLS) serta pengembangan fitur *predictive maintenance* berbasis *machine learning* untuk deteksi dini anomali tekanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Pimpinan Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang yang mendukung dan memfasilitasi penelitian ini. Penulis juga ucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Machmud Effendy, ST., MT., IPM., ASEAN Eng. selaku Pembimbing PSPPI-UMM yang telah membimbing dan memungkinkan terselesaikannya artikel ini.

REFERENSI

[1] T. Kuma and B. Abate, "Evaluation of Hydraulic Performance of Water Distribution System for Sustainable Management," *Water Resour. Manag.*, vol. 35, no. 15, pp. 5259–5273, 2021, doi: 10.1007/s11269-021-03000-4.

[2] O. Giustolisi, F. G. Ciliberti, L. Berardi, and D. B. Laucelli, "Leakage Management Influence on Water Age of Water Distribution Networks,"

Water Resour. Res., vol. 59, no. 1, p. e2021WR031919, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1029/2021WR031919>.

[3] S. Ismail, D. W. Dawoud, N. Ismail, R. Marsh, and A. S. Alshami, "IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 35942–35952, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3163742.

[4] D. Kanellopoulos, V. K. Sharma, T. Panagiotakopoulos, and A. Kameas, "Networking Architectures and Protocols for IoT Applications in Smart Cities: Recent Developments and Perspectives," *Electronics*, vol. 12, no. 11, 2023, doi: 10.3390/electronics12112490.

[5] V. Bonilla, B. Campoverde, and S. G. Yoo, "A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications," *Sensors*, vol. 23, no. 20, 2023, doi: 10.3390/s23208440.

[6] M. N. Rasyid, "Analisis Penggunaan Metode District Meter Area Terhadap Tingkat Kehilangan Air Pada Dma Ronggolawe (W2g) Kota Malang," Universitas Brawijaya, 2024. [Online]. Available: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/225817/>

[7] "Analisis Karakteristik Transmisi LoRa pada Wilayah Perkotaan," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 8 SE-Artikel, pp. 3977–3986, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11483>

[8] Kamaludin, F. Imansyah, and J. Marpaung, "Pemetaan Coverage Area BTS (Base Transceiver Station) di Kecamatan Teluk Keramat Kabupaten Sambas menggunakan Software QGIS (Quantum Geographic Information System)," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/49147/75676590488>

[9] H. M. Forhad *et al.*, "IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs)," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40746, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40746>.

[10] I. Wahyudi, D. Siswanto, M. Mukhsim, and S. Setyawidayat, "Solar Power System for Water Pressure Monitoring System at Perumda Tugu Tirta Kota Malang," *J. Sci. Appl. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 18–26, 2024, doi: 10.31328/js.v7i1.5062.

[11] A. Faricha, D. Adiputra, I. Hafidz, L. Amifia, and M. Riansyah, "Analisa Studi tentang Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air PDAM berbasis Internet of Things," *J. Teknol. dan Terap. Bisnis*, vol. 2, no. 1, pp. 53–58, 2019, doi: <https://doi.org/10.0301/JTTB.V2i1.61>.

[12] U. Latipah and Z. Alamsyah, "Analisis Sistem Monitoring Air Layak Konsumsi berbasis IoT menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," in *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Manajemen Informatika (SISMATIK) 2022*, Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia: Program Studi Sistem Informasi, Universitas Nusa Putra Sukabumi, 2022. [Online]. Available: <https://sismatik.nusaputra.ac.id/index.php/sismatik/en/article/view/95>

[13] H. Sujadi, A. Mardiana, and A. Permana, "Pengembangan Purwarupa Monitoring Tagihan Air PDAM berbasis Internet of Things," *INFOTECH*, vol. 7, no. 2, pp. 9–14, 2021, doi: <https://doi.org/10.31949/infotech.v7i2.1251>.

[14] C. Z. Zulkifli *et al.*, "IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review," *Water*, vol. 14, no. 22, p. 3621, 2022, doi: 10.3390/w14223621.

[15] M. Staude, P. Brożek, E. Kostecka, D. Tarnapowicz, and J. Wysocki, "Remote Water Quality Monitoring System for Use in Fairway Applications," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 23, 2024, doi: 10.3390/app142311406.

[16] C. Z. Zulkifli *et al.*, "Smart Platform for Water Quality Monitoring System using Embedded Sensor with GSM Technology," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 95, no. 1 SE-Articles, pp. 54–63, May 2022, doi: 10.37934/arfmts.95.1.5463.

[17] R. Afriansyah, R. Hidayat, and U. Latifa, "Analisis Sistem Kerja GSM (Global System for Mobile) pada Protokol POS GSM (Produk Alat Monitoring Kolam Lele Pakan Otomatis berbasis Global System for Mobile)," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 45–55, 2024.

[18] H. A. Kusuma and D. E. D. Setyono, "Comparing global system for mobile and G-NetTrack signal strength in drive test study," *TELKOMNIKA*, vol. 23, no. 2, pp. 275–282, 2025, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v23i2.26130.

[19] J. Trevathan and S. Schmidtke, "Open-source Internet of Things remote aquatic environmental sensing," *HardwareX*, vol. 12, p. e00336, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00336.

[20] N. Kaushik, T. Bagga, and R. K. Aggarwal, "Comparative Study on IoT Technologies - Short & Long Range," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 68, no. 12, pp. 37–42, 2020, doi:

- <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I12P207>.
- [21] SIMCom, "SIM800H & SIM800L Hardware Design V2.02," Shanghai, P. R. China, V2, 2015. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1741389/SIMCOM/SIM800L.html>
- [22] J. E. M. P. Martins and A. C. G. Vianna, "Teaching general concepts about sensors and transfer functions with a voltage divider," *Latin-American J. Phys. Educ.*, vol. 5, no. 4, pp. 656–666, 2011, [Online]. Available: <http://www.lajpe.org>
- [23] P. C. and P. Sathiyapriya, "AI-IoT Based Smart Water Management System for Smart City and Rural Development," in *2025 International Conference on Emerging Technologies in Engineering Applications (ICETEA)*, 2025, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICETEA64585.2025.11100005.
- [24] Venn Telecom, "How to Interpret RSSI parameters in 2G, 3G and LTE routers," Knowledge base. Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://help.venntelecom.com/support/solutions/articles/44001930999-how-to-interpret-rssi-parameters-in-2g-3g-and-lte-routers>
- [25] Teltonika, "RSSI." Accessed: Apr. 16, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSSI>
- [26] N. Trifunovic, *Introduction to Urban Water Distribution: Unesco-IHE Lecture Note Series*, 1st ed. London, United Kingdom: CRC Press, 2026. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203964699>.
- [27] W. M. Desta, F. F. Feyessa, and S. K. Debela, "Modeling and optimization of pressure and water age for evaluation of urban water distribution systems performance," *Heliyon*, vol. 8, no. 11, p. e11257, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11257>.
- [28] Menteri PUPR, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020 tentang Prosedur Operasional Standar Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*, no. 4. Republik Indonesia, 2020. [Online]. Available: [https://peraturan.bpk.go.id/Download/136184/Permen PUPR Nomor 4 Tahun 2020.pdf](https://peraturan.bpk.go.id/Download/136184/Permen_PUPR_Nomor_4_Tahun_2020.pdf)
- [29] S. Kara, I. E. Karadirek, A. Muhammetoglu, and H. Muhammetoglu, "Real time monitoring and control in water distribution systems for improving operational efficiency," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 25, pp. 11506–11519, 2016, doi: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1069224>.