

PROTOTYPE AUTOMATIC TANK GAUGE PADA MODEL TANGKI PENDAM BERBASIS INTERNET OF THINGS

GIANTO *, YUSTRIA LUBNA AZ ZAHRA, WILLI SUTANTO

*Program Studi D-III Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 25, Kutamandiri, Kec. Tanjungsari, Sumedang, Jawa Barat 45362
Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 0813-5500-0872*

Abstrak. Transaksi jual beli Bahan Bakar Minyak (BBM) berlangsung setiap saat di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) seiring dengan kebutuhan transportasi di masyarakat. Pentingnya pemantauan ketersediaan volume BBM di SPBU tidak dapat dinafikan, karena hal ini memungkinkan SPBU untuk mengelola persediaan BBM dengan baik sehingga kebutuhan BBM di masyarakat selalu terpenuhi. Umumnya, pemantauan ketersediaan volume BBM pada tangki pendam yang ada di SPBU masih dilakukan secara manual. Pada pengukuran secara manual digunakan alat ukur yang dikenal dengan dipstick. Hasil pengukuran dengan menggunakan dipstick rentan terhadap human error. Selain itu, pengukuran manual dengan dipstick dapat menghambat proses pengambilan keputusan dalam pengisian ulang BBM. Dengan demikian, pada penelitian ini dirancang prototipe *Automatic Tank Gauge* (ATG) pada model tangki pendam 10 liter sebagai sistem monitoring volume cairan yang akurat dan *real time*. Sistem ini menggunakan transduser ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian permukaan BBM dan sensor suhu DS18B20 untuk mengoreksi volume akibat pengaruh suhu. Data volume BBM diproses oleh mikrokon---troller NodeMCU ESP8266 yang terkoneksi dengan internet nirkabel (WiFi) sehingga dapat ditampilkan secara *real time* pada aplikasi mobile Blynk. Berdasarkan hasil pengujian volumetrik yang telah dilakukan, prototipe menunjukkan tingkat akurasi 98,264% dan tingkat presisi 99,219% pada 10 titik uji (1000 mL – 10.000 mL).

Kata kunci: *Automatic Tank Gauge* (ATG), Tangki Pendam, Transduser Ultrasonik HC-SR04, Sensor Suhu DS18B20, Internet of Things (IoT)

Abstract. The transaction of Fuel Oil (BBM) is an ongoing process at Gas Stations (SPBU) in line with the transportation needs of the community. The importance of monitoring the availability of BBM volume at SPBU cannot be denied, as this allows SPBU to manage BBM inventory well so that the BBM needs of the community are always met. In general, monitoring the availability of BBM volume in the underground tanks at SPBU is still done manually. In manual measurements, a measuring tool known as a dipstick is used. The results of measurements using a dipstick are prone to human error. In addition, manual measurement with a dipstick can hinder the decision-making process in refilling BBM. Therefore, in this study, a prototype *Automatic Tank Gauge* (ATG) on a 10-liter modele underground tank was designed as an accurate and real-time volume monitoring system. This system uses the HC-SR04 ultrasonic transducer to measure the height of the BBM surface and the DS18B20 temperature sensor to correct the volume due to the influence of temperature. BBM volume data is processed by the NodeMCU ESP8266 microcontroller which is connected to the internet (WiFi) so that it can be displayed in real time on the Blynk mobile application. Based on the volumetric test results that have been carried out, the prototype shows the accuracy of 98.264% and precision of 99.219% at 10 test points (1000 mL - 10,000 mL)

Keywords: *Automatic Tank Gauge* (ATG), Storage Tank, Ultrasonic Transducer HC-SR04, Temperature Sensor DS18B20, Internet of Things (IoT)

* Email: gianto@akmet.ac.id

1. Pendahuluan

Kegiatan monitoring di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) terhadap ketersediaan Bahan Bakar Minyak (BBM) memiliki peran penting bagi manajemen SPBU terkait persediaan BBM. BBM yang tersedia di SPBU disimpan dalam tangki pendam sebelum disalurkan kepada masyarakat melalui Pompa Ukur BBM. Tangki pendam di SPBU merupakan jenis tangki BBM yang diletakkan di bawah tanah [1]. Dengan monitoring yang berkala dan sistematis, kelancaran distribusi BBM dapat terjaga, sehingga kebutuhan masyarakat akan BBM terpenuhi dengan baik.

Proses monitoring ketersediaan BBM di dalam tangki pendam umumnya dilakukan dengan mengukur volumenya. Saat ini, masih terdapat banyak SPBU yang melakukan pengukuran volume secara manual dengan menggunakan dipstick atau tongkat ukur karena harga dan *maintenance* dari instrumen otomatis yang relatif mahal [2]. Pengukuran volume secara manual tergolong tidak praktis, karena penggunaan dipstick harus dicelupkan ke dalam cairan pada tangki pendam. Pengukuran manual juga bergantung pada kemampuan operator dalam membaca skala pada tongkat ukur sehingga hasil pengukurannya rentan terhadap *human error* [3]. Selain itu, pengukuran manual dengan dipstick dapat menghambat proses pengambilan keputusan dalam pengisian ulang.

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, metode pemantauan ketersediaan Bahan Bakar Minyak (BBM) telah berkembang pesat dengan penerapan perangkat otomatis yang dikenal sebagai *Automatic Tank Gauge* (ATG) [4]. ATG adalah alat yang dirancang untuk secara otomatis menampilkan volume BBM berdasarkan ketinggian dalam tangki pendam, serta memberikan informasi penting lainnya, seperti suhu BBM, dengan cepat dan akurat [5]. Penggunaan ATG tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan persediaan BBM, tetapi juga mengurangi risiko kesalahan manusia yang sering terjadi pada metode pengukuran manual. Oleh karena itu, *Automatic Tank Gauge* (ATG) merupakan alternatif yang tepat untuk memantau persediaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam tangki pendam secara akurat dan efisien.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk merancang sistem pemantauan BBM dalam tangki pendam. Salah satunya adalah penelitian yang merancang sistem pemantauan volume minyak dalam tangki pendam menggunakan transduser ultrasonik, di mana ketinggian cairan ditampilkan pada layar LCD [1]. Namun, pada penelitian ini hasil pengukuran belum bisa diperoleh secara *real time*. Pada penelitian lain dikembangkan prototipe pemantauan volume BBM berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan transduser ultrasonik HC-SR04. Data pengukuran yang diperoleh kemudian dikirimkan ke ThingSpeak sehingga dapat dipantau secara *real time* [6][7]. Kekurangan dari penelitian ini adalah belum adanya sensor suhu untuk mengukur suhu cairan BBM. Selain itu, pemanfaatan transduser ultrasonik HC-SR04 menunjukkan akurasi yang baik dalam mengukur ketinggian cairan, seperti yang terlihat pada perancangan prototipe yang mengukur ketinggian indeks penunjuk pada Tangki Ukur Mobil (TUM) [8]. Temuan ini menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik yang dipantulkan dari permukaan zat padat dan cair memiliki tingkat refleksi yang hampir identik, yang mendukung penggunaan teknologi ini dalam pemantauan ketersediaan BBM.

Informasi suhu pada volume cairan Bahan Bakar Minyak (BBM) sangat penting karena suhu dapat mempengaruhi densitas dan volume BBM yang diukur. Ketika suhu meningkat, BBM cenderung mengembang, sehingga volume yang terukur bisa lebih besar daripada volume sebenarnya pada suhu standar. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah, BBM akan menyusut dan volume yang terukur bisa lebih kecil. Oleh karena itu, informasi pengukuran volume BBM perlu dilengkapi dengan informasi suhu agar diperoleh volume BBM terkoreksi pada suhu standar 15°C berdasarkan Tabel ASTM 54 [9].

Dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu prototipe *Automatic Tank Gauge* (ATG) yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring persediaan BBM pada model

tangki berkapasitas 10 liter. Prototipe ini berfungsi untuk mengukur ketinggian permukaan cairan BBM dalam tangki pendam dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik, dan hasil pengukuran tersebut akan dikonversi menjadi volume [10]. Selain itu, prototipe ini dilengkapi dengan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu cairan BBM [11]. Data suhu yang diperoleh digunakan untuk menentukan volume terkoreksi pada suhu 15°C, sesuai dengan tabel ASTM 54. Informasi hasil pengukuran dari prototipe ini akan ditampilkan secara real-time melalui aplikasi *mobile* Blynk, menggunakan modul WiFi NodeMCU ESP8266 [12].

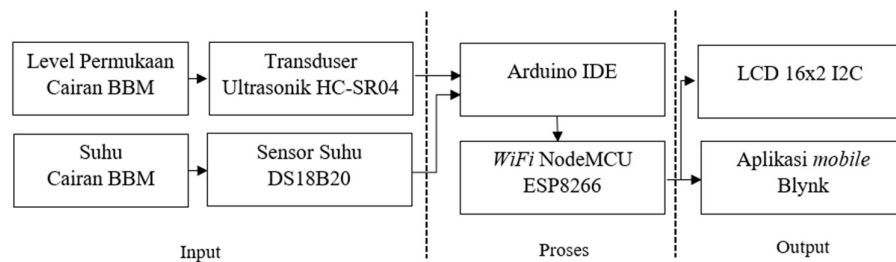
2. Metode Penelitian

2.1 Alur Kerja Penelitian

Penelitian pada Prototipe *Automatic Tank Gauge* Pada Model Tangki Pendam Berbasis *Internet of Things* ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan tersebut meliputi studi literatur dari dokumen atau jurnal yang terkait dengan prototipe, membuat perencanaan prototipe yang akan dibuat, merakit prototipe, menguji prototipe untuk mendapatkan data, melakukan pengolahan dan analisis dari data yang diperoleh, dan membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

2.2 Cara Kerja Sistem

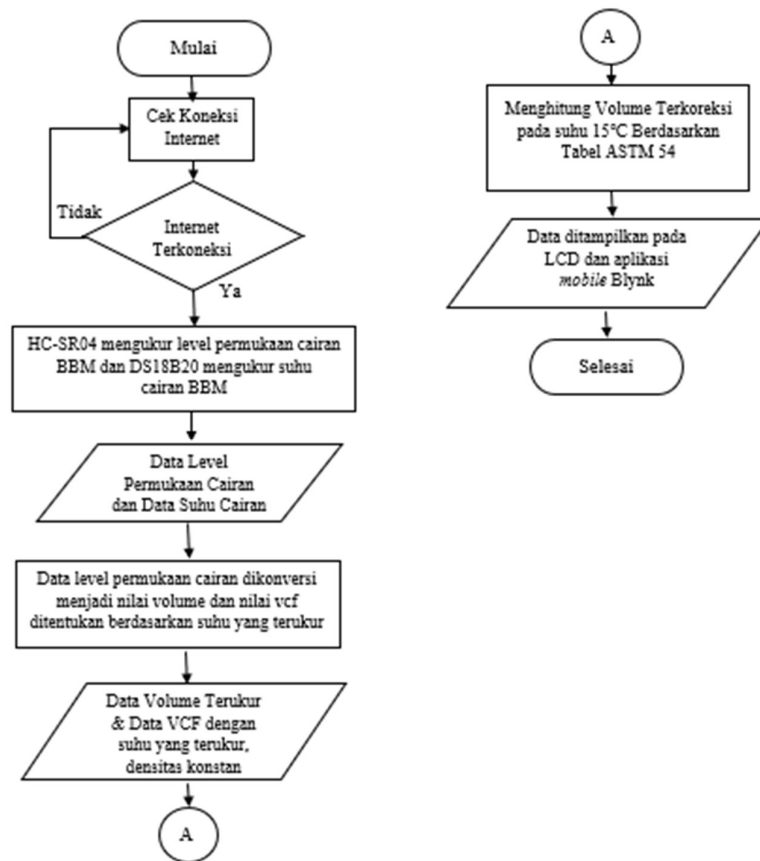
Prototipe *Automatic Tank Gauge* Pada Model Tangki Pendam Berbasis *Internet of Things* dibuat dengan tujuan untuk memantau volume dan suhu cairan BBM dalam model tangki pendam kapasitas 10 liter yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Prototipe ini dirancang dengan memanfaatkan transduser ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian cairan permukaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam tangki pendam, serta sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu cairan BBM. Data dari sensor kemudian diproses menggunakan Arduino IDE dan NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan internet (WiFi). Hasil pengukuran tersebut menghasilkan nilai volume BBM berdasarkan ketinggian cairan, serta data suhu untuk menentukan volume terkoreksi pada suhu 15°C, sesuai dengan tabel ASTM 54. Informasi hasil pengukuran tersebut kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 I2C dan aplikasi *mobile* Blynk secara *real time*. Gambar 1 menunjukkan prinsip kerja secara sederhana dari prototipe ini melalui diagram blok.



Gambar 1. Diagram Blok Prototipe

Proses pengukuran secara menyeluruh pada prototipe ini ditampilkan pada Gambar 2 yang merupakan diagram alir sistem monitoring volume berbasis ultrasonik pada model tangki pendam 10 liter. Prototipe ini menggunakan modul WiFi NodeMCU ESP8266 sehingga harus terkoneksi dengan internet. Ketika modul terkoneksi, maka sensor akan mulai melakukan pengukuran. HC-SR04 mengukur level permukaan cairan BBM dengan output berupa data level permukaan cairan. Adapun sensor DS18B20 mengukur suhu cairan BBM dengan output berupa data suhu cairan. Data level permukaan cairan kemudian dikonversi menjadi volume, sedangkan data suhu cairan digunakan untuk menentukan nilai *volume correction factor* (vcf) berdasarkan Tabel ASTM 54

dengan densitas 1000 kg/m^3 . Setelah memperoleh data volume terukur dan data vcf, selanjutnya dihitung volume terkoreksi pada suhu standar 15°C . Hasil pengukuran berupa nilai jarak antara transduser dengan cairan BBM, volume cairan berdasarkan jarak yang terukur, suhu yang terukur, nilai vcf, serta volume cairan pada suhu standar 15°C kemudian ditampilkan pada LCD dan aplikasi *mobile* Blynk.



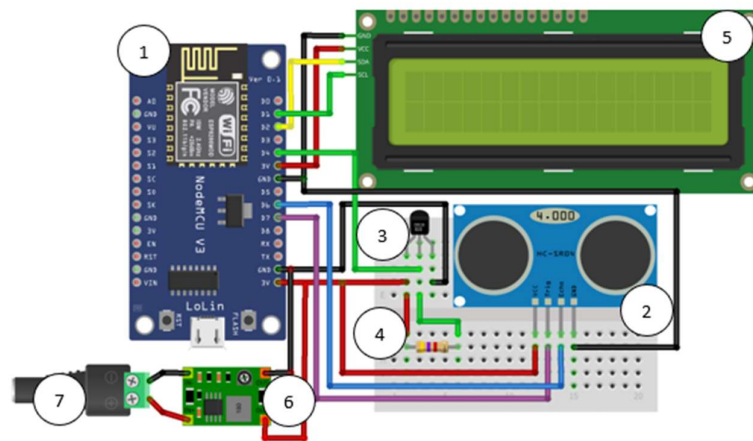
Gambar 2. Diagram Alir Prototipe

2.3 Perancangan Prototipe

Pada penelitian ini, sistem monitoring volume berbasis ultrasonik pada model tangki pendam 10 liter terdiri dari 7 komponen. Komponen tersebut di antaranya (1) NodeMCU ESP8266, (2) transduser ultrasonik HC-SR04, (3) sensor suhu DS18B20, (4) Resistor, (5) LCD 16x2 I2C, (6) MP1584 *Sm all Fixed Output Step Down* 3.3V, dan (7) DC Jack Female Power Adapter yang dihubungkan dengan adaptor 9V sebagai *power*. Komponen-komponen tersebut kemudian dirangkai mengikuti skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada prototipe ini terdapat dua komponen sebagai instrumen ukur, yakni transduser ultrasonik HC-SR04 dan sensor suhu DS18B20. Transduser Ultrasonik HC-SR04 terdiri dari dua bagian utama, yakni pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Ketika transduser diaktifkan, pemancar akan mengirimkan pulsa gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi ke arah objek yang dituju.

Ketika gelombang ultrasonik mengenai suatu objek, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke arah transduser. Penerima pada transduser HC-SR04 akan menangkap gelombang ultrasonik yang dipantulkan ini. Transduser akan menghitung selisih waktu antara pengiriman pulsa ultrasonik dan penerimaan gelombang pantulan. Dengan mengetahui kecepatan suara di udara (sekitar 343 meter per detik) dan selisih waktu tersebut, transduser dapat menghitung jarak antara sensor dan objek. Adapun sensor suhu DS18B20 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi sinyal digital. Di dalam sensor terdapat sebuah transistor yang sensitivitasnya terhadap suhu sangat tinggi. Ketika suhu lingkungan yang berubah, resistansi transistor ini juga ikut berubah. Perubahan resistansi inilah yang kemudian diukur oleh sensor dan dikonversi menjadi nilai digital yang merepresentasikan suhu aktual.



Gambar 3. Skema Rangkaian Prototipe

2.4 Pengujian Prototipe

Setelah tahapan perancangan, langkah selanjutnya adalah pengujian prototipe. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan prototipe yang telah dirancang. Pengujian yang dilakukan pada prototipe ini meliputi kalibrasi transduser ultrasonik HC-SR04, kalibrasi sensor DS18B20, pengujian tinggi air pada model tangki pendam, serta pengujian prototipe sistem monitoring volume cairan berbasis ultrasonik pada model tangki pendam 10 liter. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Akademi Metrologi dan Instrumentasi (Akmet). Pada kalibrasi transduser ultrasonik HC-SR04 digunakan standar berupa mistar baja dengan skala terkecil 0,1 cm. Pada kalibrasi sensor suhu DS18B20 digunakan standar termometer digital Tipe K dengan daya baca 0,01°C. Setelah melakukan pengujian terhadap sensor yang digunakan, selanjutnya dilakukan pengujian fungsi prototipe untuk mengukur tinggi cairan pada model tangki pendam 10 liter. Pada penelitian ini untuk studi awal, digunakan media cairan berupa air untuk meminimalkan risiko keselamatan dan kendala teknis. Air memiliki sifat fisik yang lebih stabil dan lebih mudah diukur, sehingga pengujian dapat dilakukan dengan lebih terkontrol, memungkinkan akurasi dan kinerja dasar dari sistem pemantauan volume cairan dapat dievaluasi tanpa gangguan faktor eksternal. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jarak yang ditunjukkan oleh prototipe dengan volume yang dimasukkan ke dalam tangki pendam menggunakan gelas ukur 1000 mL. Setelah diketahui persamaan yang menunjukkan hubungan antara nilai ketinggian air dan nilai volume pada tangki pendam, persamaan tersebut kemudian digunakan untuk mengonversi nilai panjang menjadi nilai volume. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa dekat pembacaan volume pada prototipe dibandingkan dengan pembacaan dari gelas ukur. Adapun

untuk penerapan prototipe pada tangki dengan volume berkapasitas penuh, misalkan lebih dari 30.000 L dengan variasi bentuk silinder/non-silinder, kalibrasi volume dapat dilakukan dengan metode volumetrik (penakaran) dengan menggunakan *tank prover* (bejana ukur standar).

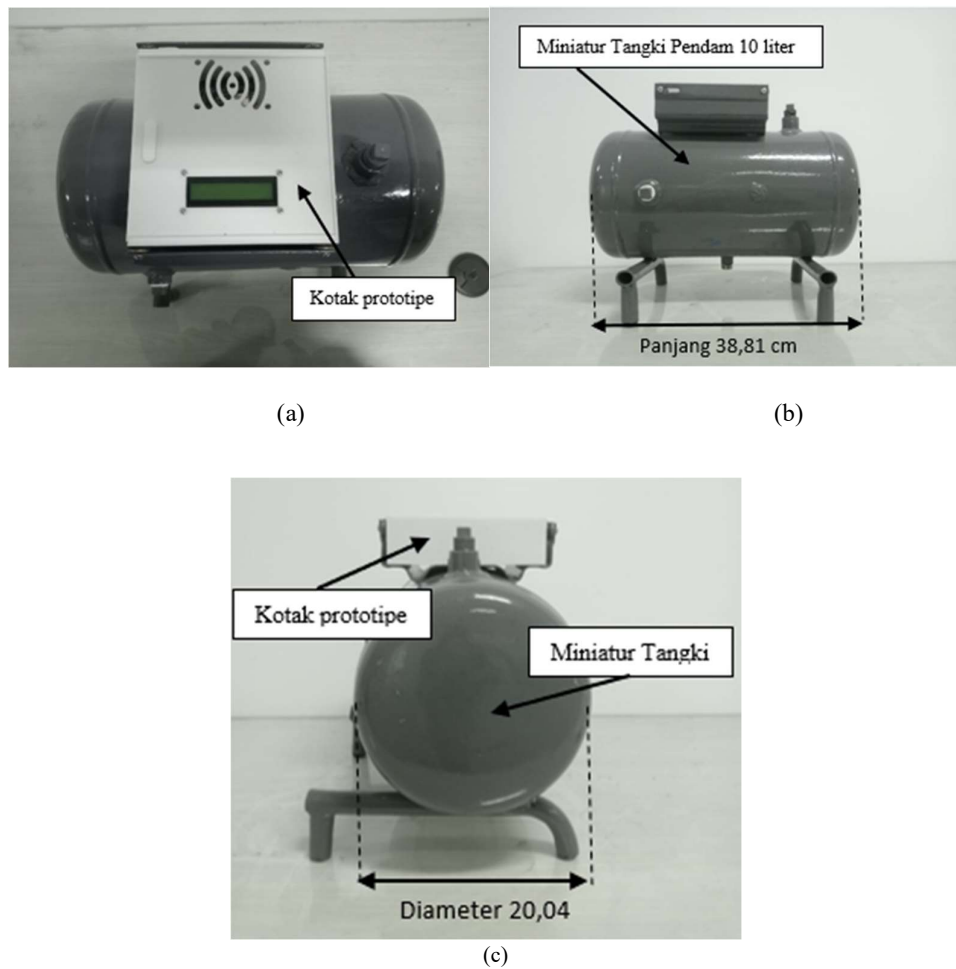
3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini mencakup lima hal utama yang dibahas. Kelima hal tersebut di antaranya hasil dari perancangan prototipe, hasil kalibrasi transduser ultrasonik HC-SR04, hasil kalibrasi sensor suhu DS18B20, hasil pengujian tinggi air pada model tangki pendam, serta hasil dari pengujian prototipe sistem monitoring volume berbasis ultrasonik pada model tangki pendam 10 liter.

3.1 Hasil Rancangan Prototipe

Prototipe *Automatic Tank Gauge* Pada Model Tangki Pendam Berbasis *Internet of Things* telah berhasil dibuat sesuai dengan desain yang dirancang. Prototipe ini dirancang untuk mengukur volume pada model tangki pendam dengan kapasitas 10 liter, yang setara dengan 1/1000 volume tangki sebenarnya. Model tangki 10 liter yang digunakan dalam penelitian ini belum sepenuhnya merepresentasikan skala nyata tangki BBM yang digunakan di SPBU, yang biasanya memiliki kapasitas bervariasi dari 10.000 L sampai dengan 60.000 liter. Namun demikian, prinsip dasar pengukuran dan pemantauan volume cairan menggunakan sensor ultrasonik dan sensor suhu tetap berlaku. Skala prototipe ini digunakan untuk menguji fungsionalitas dasar sistem, dan hasil dari pengujian dengan model kecil ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan prototipe lebih lanjut dengan tangki berkapasitas besar. Model tangki pendam yang digunakan berupa tangki berbahan *carbon steel* yang memiliki dimensi diameter 20,04 cm dan panjang 38,81 cm. Dimensi kotak prototipe dibuat sesuai dengan penyangga yang tersedia pada model tangki pendam, yaitu 16 cm x 16,2 cm x 5 cm. Gambar 4 menunjukkan hasil prototipe yang terpasang pada model tangki pendam 10 liter.

Selain ditampilkan pada LCD, hasil akhir dari pengukuran prototipe juga ditampilkan pada aplikasi *mobile* Blynk yang sudah terpasang di ponsel sehingga dapat dipantau secara real time. Informasi hasil pengukuran yang ditampilkan pada aplikasi ini meliputi densitas cairan, volume terukur berdasarkan ketinggian yang diperoleh dari transduser ultrasonik HC-SR04, suhu yang diperoleh dari sensor DS18B20, serta perhitungan volume koreksi yang dilakukan oleh program pada Arduino dengan dasar tabel ASTM 54. Dengan menggunakan data densitas cairan, volume, dan suhu yang terkumpul, program akan melakukan perhitungan volume terkoreksi. Tampilan data hasil pengukuran pada aplikasi *mobile* Blynk ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada saat kondisi tangki pendam kosong, aplikasi ini juga diatur untuk memberikan informasi melalui notifikasi. Notifikasi tersebut tampak pada ponsel dan notifikasi melalui Gmail, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

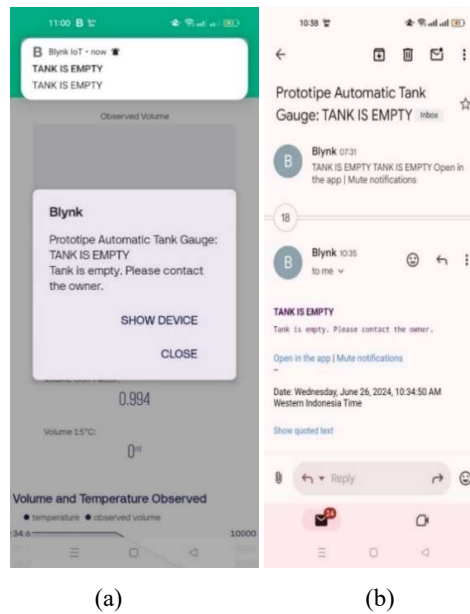


Gambar 4. Prototipe yang Terpasang Pada Model Tangki Pendam : (a) tampak atas, (b) tampak depan, dan (c) tampak samping

Gianto, dkk.



Gambar 5. Tampilan Hasil Pengukuran Prototipe Pada Aplikasi Mobile Blynk



Gambar 6. Tampilan Notifikasi Pada Saat Kondisi Tangki Pendam Kosong.(a) notifikasi pada ponsel (b) notifikasi melalui surel (e-mail)

Berdasarkan pengujian waktu respon sistem berdasarkan perbandingan waktu yang diperlukan agar hasil pengukuran prototipe tampak pada aplikasi *mobile* Blynk dengan *stopwatch* diperoleh waktu respon yang diperlukan aplikasi untuk menampilkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 1. Rata-rata waktu yang diperlukan sistem untuk menampilkan hasil pengukuran adalah 7,94 detik. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem monitoring melalui aplikasi *mobile* Blynk terbilang singkat dibandingkan dengan pengukuran secara manual yang memerlukan waktu

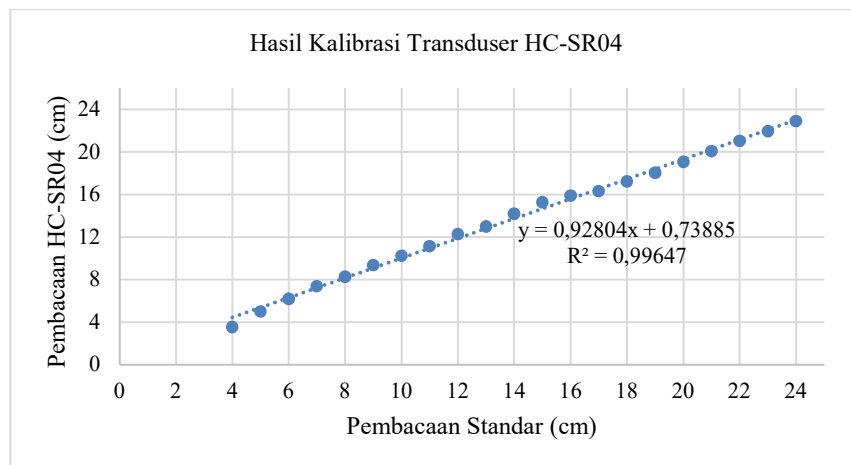
untuk melaksanakan prosedurnya. Oleh karena itu, sistem pada prototipe ini dikatakan dapat dipantau secara *real time*.

Tabel 1. Hasil Pengujian Waktu Respon Aplikasi Mobile Blynk

No.	Pengujian dengan Blynk	
	Pengujian Penambahan Volume Cairan	Waktu Respon
1	Pengujian 1	7,86 detik
2	Pengujian 2	8,47 detik
3	Pengujian 3	7,49 detik
	Rata-rata	7,94 detik

3.2 Hasil Kalibrasi Transduser Ultrasonik HC-SR04

Kalibrasi transduser ultrasonik HC-SR04 dilaksanakan di Laboratorium Dimensi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi. Alat standar yang digunakan adalah Mistar Baja 60 cm dengan skala terkecil 0,1 cm. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan transduser dan nilai standar dalam rentang titik pengujian dari 4 cm hingga 24 cm dengan interval setiap 1 cm. Pengujian tersebut dilakukan dengan pengujian pengujian naik (dari nilai terendah) dan pengujian turun (dari nilai tertinggi). Pengambilan data kalibrasi dilakukan dengan total pembacaan sebanyak 30 pembacaan di setiap titiknya. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kalibrasi transduser HC-SR04 kemudian digunakan untuk membuat grafik regresi linear sederhana untuk mencari linearitas dari transduser HC-SR04. Gambar 7 menunjukkan grafik linearitas dari transduser HC-SR04.

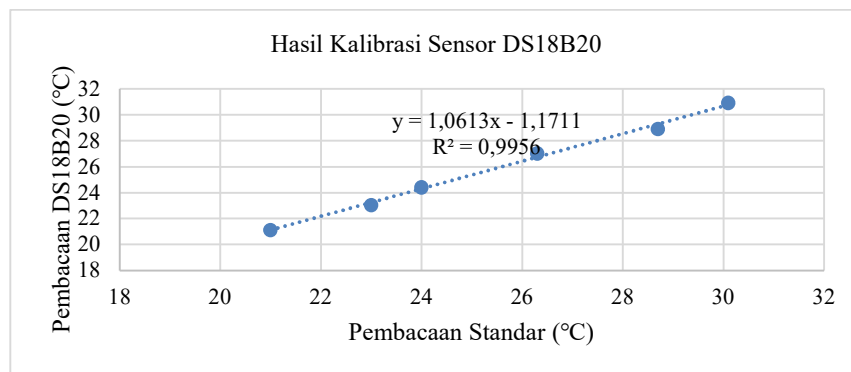


Gambar 7. Grafik Kalibrasi Transduser HC-SR04

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, karakteristik transduser HC-SR04 menunjukkan linearitas yang sangat baik dengan nilai r^2 (koefisien determinasi) mendekati satu, yaitu 0,99647. Persamaan linear yang diperoleh pada tahap ini adalah $y = 0,92804x + 0,73885$, dengan x adalah nilai standar yang ditunjukkan oleh mistar baja dan y merupakan nilai yang ditunjukkan oleh transduser HC-SR04. Persamaan tersebut kemudian ditambahkan ke dalam kode program untuk memberikan hasil pengukuran jarak yang lebih baik pada prototipe ini.

3.3 Hasil Kalibrasi Sensor DS18B20

Kalibrasi sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan acuan nilai benar dari termometer digital tipe termokopel standar. Termometer digital standar yang digunakan untuk kalibrasi sensor suhu pada pengujian ini adalah termometer digital dengan tipe Termokopel Tipe K merek Lutron, model TM 9017SD, dengan daya baca $0,01^{\circ}\text{C}$. Sensor suhu DS18B20 dan termokopel dimasukkan ke dalam *dry block* dan diatur sesuai dengan titik suhu yang diinginkan. Pengujian dilakukan pada 5 titik, setiap titik uji dilakukan 5 kali pengulangan. Data yang diperoleh dari hasil kalibrasi sensor DS18B20 kemudian digunakan untuk membuat grafik regresi linear untuk mencari persamaan yang menggambarkan linearitas sensor DS18B20. Gambar 8 menunjukkan grafik linearitas sensor DS18B20.



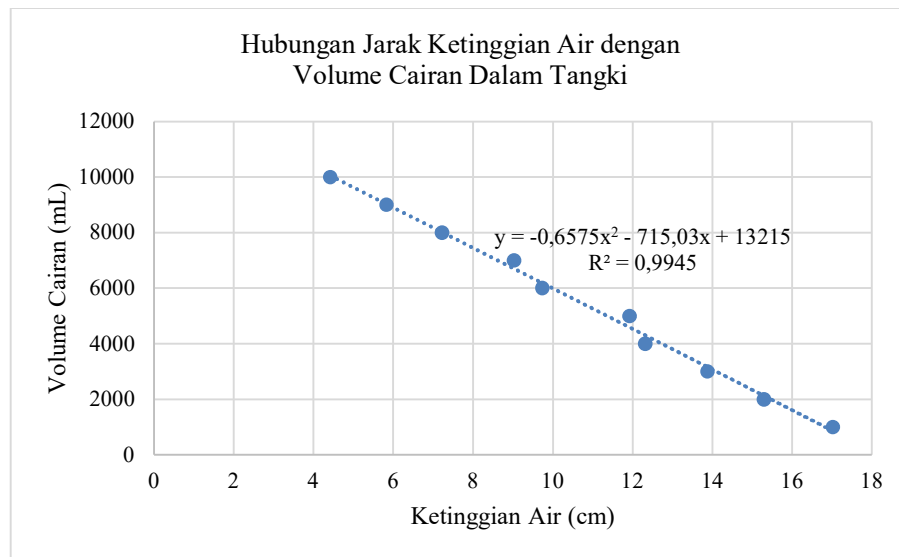
Gambar 8. Grafik Kalibrasi Sensor DS18B20

Berdasarkan Gambar 8, data yang terbaca oleh sensor DS18B20 menunjukkan sensor DS18B20 bersifat linear dengan nilai r^2 (koefisien determinasi) 0,9956. Persamaan linear yang diperoleh adalah $y = 1,0613x - 1,1711$, dengan x adalah nilai standar yang ditunjukkan oleh termokopel tipe K dan y merupakan nilai yang ditunjukkan oleh sensor DS18B20. Persamaan tersebut kemudian ditambahkan ke dalam kode program untuk memberikan hasil pengukuran suhu yang lebih baik pada prototipe ini.

3.4 Hasil Pengujian Tinggi Air Pada Model Tangki Pendam

Pengujian tinggi air pada model tangki pendam dilakukan untuk menemukan persamaan hubungan jarak yang ditunjukkan oleh prototipe dengan volume pada model tangki pendam. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode volumetrik dengan alat ukur standar, yakni gelas ukur merek Pyrex kapasitas 1.000 mL. Rentang pengujian dilakukan dari 1.000 mL hingga 10.000 mL dengan interval titik pengujian 1.000 mL. Pada setiap titik pengujian, diambil 10 data ketinggian dengan cara memasukkan air sebanyak 1.000 mL ke dalam tangki pendam menggunakan gelas ukur secara bertahap hingga 10.000 mL.

Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk membuat grafik yang menunjukkan hubungan tinggi air dengan volume pada model tangki pendam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui persamaan yang dapat digunakan untuk mengonversi nilai panjang menjadi nilai volume. Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan antara nilai ketinggian air dan nilai volume pada model tangki pendam.



Gambar 9. Grafik Hubungan Ketinggian Air dan Volume Tangki Pendam

Berdasarkan Gambar 9, hasil pembacaan ketinggian cairan pada model tangki pendam menghasilkan persamaan polinomial, yaitu $y = -0,6575x^2 - 715,03x + 13215$. Nilai r^2 (koefisien determinasi) 0,9945, menunjukkan hubungan antara ketinggian air yang dibaca oleh prototipe dan volume tangki pendam linear. Grafik menunjukkan bahwa nilai jarak ketinggian air yang semakin besar akan menunjukkan volume yang semakin kecil, dan demikian sebaliknya. Hal ini disebabkan transduser berada di atas model tangki pendam, yang artinya jika semakin dekat dengan transduser maka volume pada tangki terisi semakin penuh, dan demikian sebaliknya.

3.5 Hasil Pengujian Prototipe

Pengujian Prototipe *Automatic Tank Gauge* Pada Model Tangki Pendam dilakukan dengan metode volumetrik menggunakan gelas ukur 1.000 mL sebagai standar. Pengambilan data dilakukan pada 10 titik uji dengan pengambilan data sebanyak 10 kali pada model tangki pendam dengan menambahkan air ke dalam tangki pendam secara bertahap menggunakan gelas ukur kapasitas 1.000 mL. Hasil dari pengujian prototipe ini ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan data hasil pengujian, diperoleh karakteristik dari prototipe ini untuk mengukur volume cairan pada tangki pendam yang disajikan pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata nilai akurasi dari prototipe ini yaitu 98,264% dengan rata-rata tingkat presisi 99,219% dan persentase kesalahan 0,954%.

Berdasarkan hasil pengujian dalam penelitian ini, diperoleh bahwa prototipe Automatic Tank Gauge (ATG) berbasis IoT yang dikembangkan, memiliki keunggulan signifikan dibandingkan dengan metode manual dengan penggunaan tongkat ukur (*dipstick*). Meskipun biaya awal prototipe ATG lebih tinggi, solusi ini memberikan akurasi yang lebih tinggi dengan tingkat akurasi 98,264% dan presisi 99,219%, serta kemampuan untuk mengoreksi volume berdasarkan suhu

Tabel 2. Hasil Pengujian Prototipe

Pengukuran ke-	Pengukuran Volume (mL)				
	1000 mL	2000 mL	3000 mL	4000 mL	5000 mL
1	973	2048	2964	3984	4942
2	987	2048	2964	3977	4956
3	973	2026	2964	3977	4956
4	973	2048	2929	3984	4942
5	987	2048	2964	3977	4942
6	987	2048	2929	3977	4942
7	973	2026	2964	3977	4956
8	973	2048	2964	3977	4942
9	987	2048	2964	3984	4942
10	987	2048	2964	3977	4942
Rata-rata	980	2043,6	2957	3979,1	4946,2
Standar Deviasi	7,37	9,27	14,75	3,38	6,76
Bias	20	43,6	43	20,9	53,8
Akurasi	95,70%	96,50%	97,05%	99,22%	98,50%
Presisi	97,74%	98,64%	98,50%	99,75%	99,59%
%Error	2,00%	2,18%	1,43%	0,52%	1,08%

Pengukuran ke-	Pengukuran Volume (mL)				
	6000 mL	7000 mL	8000 mL	9000 mL	10.000 mL
1	6072	6981	8039	9033	10051
2	6035	7017	8026	9033	10038
3	6072	6981	8026	9033	10051
4	6035	7017	8039	9033	10051
5	6035	7017	8026	9033	10051
6	6072	7017	8026	9033	10038
7	6072	7017	8026	9033	10051
8	6072	7017	8039	9033	10051
9	6072	6981	8026	9033	10051
10	6072	7017	8026	9033	10051
Rata-rata	6060,9	7006,2	8029,9	9033	10048,4
Standar Deviasi	17,87	17,38	6,27	0	5,48
Bias	60,9	6,2	29,9	33	48,4
Akurasi	98,11%	99,17%	99,39%	99,63%	99,35%
Presisi	99,12%	99,26%	99,77%	100,00%	99,84%
%Error	1,01%	0,09%	0,37%	0,37%	0,48%

Tabel 3. Karakteristik Hasil Pengujian Prototipe

Standar Deviasi (mL)	Bias (mL)	Akurasi	Presisi	%Error
8,857	35,97	98,264%	99,219%	0,954%

Selain itu, prototipe ATG memungkinkan pemantauan real-time melalui aplikasi Blynk, yang memungkinkan pengelola SPBU untuk memantau volume BBM secara jarak jauh dan menerima notifikasi otomatis saat volume cairan rendah. Dengan integrasi IoT, sistem ini juga memfasilitasi pengumpulan dan analisis data untuk mengoptimalkan operasi, yang tidak dimiliki oleh metode manual. Meskipun membutuhkan investasi awal lebih tinggi, ATG mengurangi biaya operasional jangka panjang dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan efisiensi pengelolaan stok BBM.

4. Kesimpulan

Prototipe *Automatic Tank Gauge* Pada Model Tangki Pendam Berbasis *Internet of Things* telah dibuat dan berfungsi untuk untuk memantau volume dan suhu cairan BBM dalam tangki pendam model (1/1000 volume tangki sebenarnya) secara real time. Volume dalam tangki pendam berhasil ditampilkan pada LCD dan aplikasi mobile Blynk di ponsel secara *real time*. Selain itu, prototipe ini juga memberikan informasi tambahan berupa nilai volume cairan terkoreksi pada suhu 15°C berdasarkan tabel ASTM 54 yang ditampilkan pada kedua perangkat display tersebut. Berdasarkan hasil pengujian, prototipe dalam penelitian ini memiliki rata-rata akurasi pembacaan 98,264% dan tingkat kepresisian 99,219%. Namun demikian, ada beberapa aspek yang perlu dikembangkan lebih lanjut pada penelitian berikutnya untuk meningkatkan kinerja prototipe. Salah satunya adalah pengujian dengan cairan BBM untuk memastikan bahwa sensor ultrasonik dapat berfungsi optimal dalam variasi viskositas, volatilitas, dan uap BBM yang dapat memengaruhi pantulan gelombang. Selain itu, pengujian lapangan di SPBU juga diperlukan untuk mengatasi faktor seperti vibrasi, suhu ekstrem, dan gangguan medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kinerja sistem. Penelitian selanjutnya juga dapat mencakup penguatan protokol mitigasi risiko terkait dengan pembobolan enkripsi untuk melindungi data sensitif di SPBU dengan sensitivitas tinggi. Dengan pengujian BBM aktual, uji lapangan, dan peningkatan protokol keamanan, diharapkan prototipe ini dapat lebih kompetitif dan dapat diandalkan dalam memantau volume dan suhu BBM secara efisien dan aman.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Akademi Metrologi dan Instrumentasi Kementerian Perdagangan dalam memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga tidak lupa disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian serta dukungan moral dan materi.

Daftar Pustaka

- [1] M. S. Tambun, N. Sudjarwanto, and A. Trisanto, "Rancang Bangun Model Monitoring Underground Tank SPBU Menggunakan Gelombang Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 9, pp. 108–121, 2015.
- [2] H. S. Sendi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Jumlah Sisa Volume Minyak Underground Tank Berbasis Mikrokontroler," vol. MI, no. Fakultas Teknik, pp. 32–86, 2018.
- [3] H. N. Isnianto, "PROTOTYPE ALAT UKUR VOLUME PADA TANGKI PENDAM SPBU MENGGUNAKAN SISTEM SONAR CINDY AFIFA ROSYANA, Hidayat Nur Isnianto, S.T., M.Eng.," 2021.
- [4] R. Wiryadinata, W. F. Putra, and Alimuddin, "Prototipe ATG sebagai Alat Ukur Volume, Suhu dan Massa Jenis pada Tangki Timbun BBM," *J. Tek. Elektro Fak. Tek. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, pp. 19–26, 2014.
- [5] H. Sulistyono and F. F. Akbar, "Prototipe Automatic Tank Gauging Optik untuk Pengukuran Level Fluida Statik," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 6, no. 2, p. 121, 2015, doi: 10.5614/joki.2014.6.2.5.
- [6] E. Sorongan, Q. Hidayati, and K. Priyono, "ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, p. 219, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.219-224.
- [7] M. F. Muhara, "Aplikasi Pendeteksi Level Dan Suhu Peralite Berbasis Iot (Internet of Things) Menggunakan Thingspeak," *Multitek Indones.*, vol. 15, no. 1, pp. 27–42, 2021, doi: 10.24269/mtkind.v15i1.3067.
- [8] R. Hastaryadi, B. Ali, M. A. Gusmiarni, and N. G. T. Waras, "PROTOTYPE PENGUKUR KETINGGIAN INDEKS PENUNJUK PADA TANGKI UKUR MOBIL

- BERBASIS Internet of Things,” *Sci. J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, pp. 32–44, 2024.
- [9] A. Drews, “Standard Guide for Petroleum Measurement Tables,” *Man. Hydrocarb. Anal. 6th Ed.*, vol. 05, no. Reapproved, pp. 247-247–2, 2008, doi: 10.1520/mnl10864m.
- [10] B. Santosa and H. Hariyadi, “Pembuatan Purwarupa Alat Pengatur Otomatis Pada Tangki Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Hc – Sr04 Berbasis Plc Sr3B101Bd,” *Rang Tek. J.*, vol. 2, no. 2, 2019, doi: 10.31869/rtj.v2i2.1379.
- [11] A. Mahfud, “Rancang Bangun Realtime Sounding pada Storage Tank Simulator Berbasis Mikrokontroler AVR ATMEGA 8535,” *J. Citra Widya Edukasi*, vol. 11, pp. 53–60, 2019.
- [12] S. Munazzar and M. Nasir, “Pengontrolan Tandon Air Berbasis IoT Menggunakan Node MCU 8266,” *Jse*, vol. IX, no. 2. Jurnal Serambi Engineering, pp. 8783–8791, 2024.