

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem monitoring level cairan berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) merupakan salah satu solusi yang banyak dikembangkan untuk menggantikan metode pengukuran manual. Pada sistem konvensional, pengukuran level bahan bakar atau cairan dalam tangki umumnya dilakukan dengan cara inspeksi langsung menggunakan alat ukur manual. Metode tersebut masih memiliki kelemahan, antara lain membutuhkan waktu pemeriksaan, bergantung pada ketelitian operator, tidak dapat memberikan data secara *real-time*, serta kurang efektif apabila tangki berada pada lokasi yang sulit dijangkau.

Teknologi IoT memungkinkan penggunaan sensor untuk mengumpulkan data secara *real-time* serta mengirim informasinya melalui jaringan komunikasi ke sistem monitoring jarak jauh. Penelitian yang memanfaatkan sensor ultrasonik pada sistem monitoring air menunjukkan bahwa penggunaan sensor ini mampu memberikan data level yang cukup akurat untuk kebutuhan otomatisasi dan notifikasi sistem berbasis IoT [5].

Beberapa studi telah mengembangkan sistem monitoring tingkat air menggunakan sensor HC-SR04 dan mikrokontroler seperti ESP8266 atau ESP32, yang kemudian mengintegrasikan hasil pembacaan sensor dengan platform *cloud* dan notifikasi pesan seperti Telegram. Contohnya, sistem monitoring ketinggian air berbasis IoT menggunakan HC-SR04 dilaporkan mampu memberikan notifikasi otomatis melalui Telegram ketika level cairan berada di bawah atau di atas ambang batas yang telah ditetapkan, dengan respons rata-rata di bawah 2 detik [5].

Pertumbuhan aplikasi monitoring berbasis LoRa sudah banyak diteliti dalam skenario yang membutuhkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Sebagai teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), LoRa memungkinkan transmisi data antarnode sensor dan *gateway* tanpa infrastruktur jaringan internet langsung, sehingga sangat cocok untuk lokasi

terpencil atau area yang sulit dijangkau jaringan *Wi-Fi* atau seluler[6]. Kajian komprehensif tentang jaringan LoRa menyatakan bahwa teknologi ini banyak digunakan dalam solusi IoT besar karena jangkauan yang luas, efisiensi energi, serta kemampuan untuk menghubungkan banyak *endpoint* sensor dalam satu jaringan.

Beberapa penelitian juga telah memanfaatkan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi pada sistem IoT. Telegram Bot API memungkinkan perangkat mikrokontroler mengirimkan pesan otomatis kepada pengguna ketika kondisi tertentu tercapai. Pada sistem monitoring level cairan, notifikasi Telegram dapat digunakan untuk memberi peringatan ketika level bahan bakar berada pada kondisi rendah, kritis, atau membutuhkan pengisian ulang [5].

Dari kajian pustaka di atas, terlihat bahwa meskipun banyak penelitian yang memanfaatkan sensor ultrasonik dan IoT untuk monitoring level cairan, masih terdapat ruang untuk mengembangkan sistem yang lebih lengkap dan terintegrasi terutama yang mencakup rangkaian komunikasi LoRa, pemrosesan data di ESP32, pemberian notifikasi pesan instan seperti Telegram, serta logging data ke *cloud* untuk analisis lebih lanjut. Model tersebut akan menjadi dasar dalam pengembangan prototipe sistem monitoring level tangki solar skala laboratorium ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep pengembangan sistem di mana perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler terhubung ke jaringan internet untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data secara otomatis. Pada sistem IoT, data dari lingkungan dapat dikumpulkan oleh sensor, diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirimkan ke pengguna atau media penyimpanan data melalui jaringan komunikasi.

Dalam sistem monitoring, IoT digunakan untuk memperoleh informasi secara berkala dari jarak jauh tanpa melakukan pengamatan langsung di lokasi alat. Implementasi IoT pada sistem monitoring level tangki ini memungkinkan

kondisi tangki dipantau secara mendekati *real-time* serta mengirimkan data ke platform *cloud* sehingga pengguna dapat mengakses informasi selama koneksi internet tersedia.

Pada penelitian ini, konsep IoT diterapkan pada sistem monitoring level tangki solar berbasis ESP32. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk membaca jarak antara sensor dengan permukaan solar di dalam tangki. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 pada node *transmitter*. Setelah data diproses, informasi level tangki dikirimkan menuju node *receiver* menggunakan komunikasi LoRa SX1278.

Node *receiver* berperan sebagai penerima data sekaligus penghubung sistem ke jaringan internet. Data yang diterima dari node *transmitter* kemudian diproses kembali oleh ESP32 *receiver* untuk menghasilkan *output* berupa indikator lokal, yaitu LED dan *buzzer*. Selain itu, ESP32 *receiver* juga mengirimkan informasi monitoring ke Telegram sebagai notifikasi jarak jauh dan Google Spreadsheet sebagai media pencatatan data.

Secara umum, alur sistem IoT pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Sensor HC-SR04 → ESP32 *transmitter* → LoRa *transmitter* → LoRa *receiver* → ESP32 *receiver* → LED, *buzzer*, Telegram, dan Google Spreadsheet.

Pada prototipe ini, sistem dirancang dalam skala laboratorium untuk mensimulasikan monitoring tangki solar tanpa implementasi langsung pada *hazardous area* industri migas. Sehingga, implementasinya difokuskan untuk membuktikan fungsi monitoring, pengiriman data, notifikasi, dan pencatatan data, bukan untuk penggunaan langsung pada area industri.

2.2.2 Tangki Solar Generator

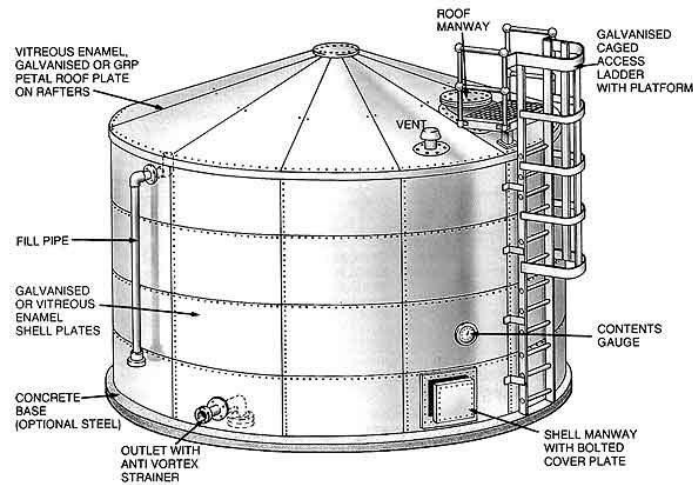
Tangki solar generator merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar diesel untuk menyuplai kebutuhan generator selama proses pembangkitan listrik berlangsung. Pada sistem generator, ketersediaan bahan bakar harus selalu terjaga agar operasi pembangkit tidak terganggu akibat kehabisan pasokan solar. Oleh karena itu, pemantauan volume

bahan bakar di dalam tangki menjadi salah satu aspek penting dalam kegiatan operasi dan pemeliharaan generator.

Tangki bahan bakar generator umumnya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu tangki utama (*main storage tank*) sebagai tempat penyimpanan bahan bakar dalam kapasitas besar dan tangki harian (*daily tank*) yang berfungsi menyuplai kebutuhan bahan bakar generator secara langsung. Tangki harian biasanya memiliki kapasitas lebih kecil dan diisi secara berkala dari tangki utama agar pasokan solar menuju generator tetap tersedia selama proses operasi. Sistem ini banyak diterapkan pada pembangkit listrik diesel maupun fasilitas industri yang menggunakan generator sebagai sumber energi cadangan.

Ditinjau dari bentuk konstruksinya, tangki penyimpanan bahan bakar dapat berupa tangki silinder tegak (*vertical tank*), tangki silinder horizontal, dan tangki persegi atau kubik (*rectangular tank*). Tangki silinder tegak umumnya digunakan pada instalasi dengan lahan terbatas karena memanfaatkan ruang secara vertikal, sedangkan tangki silinder horizontal, yang juga dikenal sebagai tangki peluru (*bullet tank*), lebih sesuai untuk area dengan keterbatasan ruang vertikal maupun untuk pemasangan di bawah permukaan tanah [10], [11].

Dalam praktiknya, bentuk tangki penyimpanan solar generator disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas, kondisi lokasi, dan kemudahan proses pengukuran volume. Salah satu bentuk yang paling banyak digunakan adalah tangki silinder tegak dengan atap tetap (*vertical fixed roof tank*), karena memiliki konstruksi sederhana, kapasitas penyimpanan besar, serta mudah dalam proses inspeksi dan perawatan. Pada tangki jenis ini, perubahan tinggi permukaan cairan berhubungan langsung dengan perubahan volume sehingga memudahkan proses kalibrasi maupun pengukuran level bahan bakar.



Gambar 2-1 Tangki Silinder Tegak

Gambar 2.1 menunjukkan konstruksi tangki silinder tegak beratap tetap (*vertical fixed roof tank*) yang umum digunakan sebagai tangki penyimpanan bahan bakar solar. Tangki terdiri atas atap tetap (*fixed roof*), dinding silinder (*shell*), dasar tangki (*bottom plate*), tangga akses (*ladder*), serta lubang ukur (*gauge hatch*) yang digunakan sebagai titik pengukuran level bahan bakar secara manual. Pada penelitian ini, bentuk tangki tersebut dijadikan acuan dalam perancangan prototipe sistem monitoring level bahan bakar karena memiliki prinsip pengukuran yang sama, yaitu menentukan volume berdasarkan perubahan tinggi permukaan cairan di dalam tangki.

Pada saat pelaksanaan magang di PPSDM Migas Cepu, sistem penyimpanan solar untuk Generator Station menggunakan tangki silinder tegak beratap tetap sebagai tangki penyimpanan utama. Berdasarkan tabel kalibrasi tangki, tangki tersebut memiliki diameter 7.673 mm dengan kapasitas penyimpanan sekitar 198.919 liter. Pengukuran level bahan bakar masih dilakukan secara manual menggunakan *Sounding Tape Richter*, sehingga operator harus mendatangi lokasi tangki untuk mengetahui ketinggian permukaan solar. Proses tersebut memerlukan waktu, bergantung pada ketelitian operator, dan belum menyediakan informasi kondisi tangki secara *real-time*. Kondisi aktual inilah yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem monitoring level bahan bakar pada penelitian ini.

2.2.3 Sistem Monitoring Level Tangki

Sistem monitoring level tangki merupakan sistem yang digunakan untuk memantau ketinggian atau jumlah cairan yang terdapat di dalam tangki. Monitoring level tangki diperlukan untuk mengetahui kondisi isi tangki secara berkala maupun *real-time*, sehingga pengguna dapat mengetahui apakah cairan berada pada kondisi kosong, rendah, normal, mendekati penuh, atau penuh. Pada sistem konvensional, pengukuran level tangki umumnya dilakukan secara manual dengan melihat indikator fisik atau menggunakan alat ukur tertentu. Cara tersebut masih memiliki kekurangan karena membutuhkan pemeriksaan langsung ke lokasi, bergantung pada ketelitian operator, dan tidak dapat memberikan informasi secara otomatis.

Pada sistem monitoring otomatis, pembacaan level tangki dilakukan menggunakan sensor. Sensor berfungsi untuk membaca parameter fisik yang berhubungan dengan kondisi cairan di dalam tangki. Data dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan informasi yang lebih mudah dipahami, seperti tinggi cairan, volume cairan, persentase level, dan status kondisi tangki. Informasi tersebut selanjutnya dapat ditampilkan melalui indikator lokal atau dikirimkan ke pengguna melalui sistem komunikasi jarak jauh.

Sistem monitoring level tangki umumnya terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sensor sebagai pembaca level cairan, mikrokontroler sebagai pengolah data, media komunikasi sebagai pengirim data, serta *output* sebagai media penyampaian informasi kepada pengguna. Sensor membaca kondisi cairan, mikrokontroler mengolah hasil pembacaan, media komunikasi mengirimkan data ke perangkat penerima, sedangkan *output* memberikan informasi berupa tampilan data, alarm, atau notifikasi.

Pada penelitian ini, sistem monitoring level tangki diterapkan pada prototipe tangki solar. Parameter yang dipantau meliputi jarak sensor terhadap permukaan solar, tinggi solar, volume solar, persentase level tangki, dan status kondisi tangki. Sensor ultrasonik digunakan untuk membaca jarak antara sensor dengan permukaan solar. Semakin kecil jarak yang terbaca oleh sensor, maka

semakin tinggi level solar di dalam tangki. Sebaliknya, semakin besar jarak yang terbaca oleh sensor, maka semakin rendah level solar di dalam tangki.

Penerapan sistem monitoring level tangki sangat membantu dalam proses pemantauan bahan bakar, terutama untuk mengurangi ketergantungan terhadap pengukuran manual. Sistem ini juga dapat memberikan peringatan dini ketika level bahan bakar berada pada kondisi rendah atau kritis. Dengan adanya peringatan tersebut, pengguna dapat segera melakukan tindakan, seperti pengisian ulang bahan bakar, sebelum tangki benar-benar kosong.

2.2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sensor jarak yang bekerja dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Sensor ini digunakan untuk mengukur jarak suatu objek tanpa kontak langsung. Pada sistem monitoring level tangki, sensor ultrasonik berfungsi membaca jarak antara posisi sensor dengan permukaan cairan. Sensor HC-SR04 memiliki dua bagian utama, yaitu *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* berfungsi memancarkan gelombang ultrasonik, sedangkan *receiver* berfungsi menerima pantulan gelombang dari objek yang terdeteksi.

Sensor ultrasonik HC-SR04 bekerja pada tegangan 5 V dengan rentang pengukuran 2–400 cm. Modul menghasilkan gelombang ultrasonik 40 kHz setelah menerima pulsa *trigger* minimal 10 μ s. Jarak ditentukan berdasarkan waktu tempuh gelombang dari sensor menuju objek dan kembali menuju sensor [7].

Prinsip kerja sensor HC-SR04 diawali dengan pemberian sinyal *trigger* dari mikrokontroler. Setelah menerima sinyal tersebut, sensor memancarkan gelombang ultrasonik ke arah objek. Gelombang yang mengenai objek akan dipantulkan kembali dan diterima oleh sensor melalui pin Echo. Waktu tempuh gelombang pantul tersebut kemudian digunakan untuk menghitung jarak.



Gambar 2-2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Secara umum, proses kerja sensor HC-SR04 adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler memberikan sinyal *trigger* ke sensor.
2. Sensor memancarkan gelombang ultrasonik ke arah permukaan cairan.
3. Gelombang ultrasonik dipantulkan kembali oleh permukaan cairan.
4. Sensor menerima pantulan gelombang melalui pin echo.
5. Mikrokontroler menghitung jarak berdasarkan waktu tempuh gelombang.

Dasar perhitungan jarak pada sensor ultrasonik adalah:

$$d = \frac{v \times t}{2}$$

Dimana:

d = jarak (cm)

v = kecepatan suara (± 340 m/s)

t = waktu pantulan (detik)

Faktor pembagi 2 digunakan karena gelombang ultrasonik menempuh dua lintasan pergi dan pulang, yaitu dari sensor menuju permukaan cairan, kemudian kembali lagi ke sensor.

Sensor HC-SR04 memiliki empat pin utama, yaitu VCC, Trig, Echo, dan GND. Fungsi setiap pin ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2-1 Pin HC-SR04 dan Fungsinya

Pin HC-SR04	Fungsi
VCC	Sumber tegangan sensor
Trig	Pin masukan untuk sinyal pemicu dari mikrokontroler
Echo	Pin keluaran untuk sinyal pantulan gelombang ultrasonik
GND	<i>Ground</i> Rangkaian

Sensor HC-SR04 memiliki kelebihan karena harganya murah, mudah digunakan, dan dapat melakukan pengukuran tanpa kontak langsung dengan cairan. Namun, sensor ini juga memiliki keterbatasan, antara lain adanya *dead zone*, pengaruh suhu udara terhadap kecepatan suara, gangguan akibat permukaan cairan yang bergelombang, serta kesalahan akibat pemasangan sensor.

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi Sensor HC-SR04:

1. *Dead zone* (2-3 cm): Sensor tidak mampu membaca jarak terlalu dekat.
2. Suhu Udara: Kecepatan suara berubah terhadap suhu.
3. Permukaan Bergelombang: Riak menyebabkan variasi pembacaan.
4. Sudut Pemasangan: Sensor harus tegak lurus terhadap permukaan cairan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini pembacaan sensor perlu dilengkapi dengan proses penyaringan data seperti *moving average* atau *median filter*. Selain itu, perlu dilakukan kalibrasi eksperimental untuk memperoleh hubungan antara pembacaan sensor, tinggi cairan, persentase level, dan volume tangki.

Pada penelitian ini metode penyaringan data menggunakan *median filter*. *Median filter* merupakan metode pengolahan data dengan cara mengambil beberapa data pengukuran, mengurutkan data tersebut dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian memilih nilai tengah sebagai hasil akhir. Metode ini efektif untuk mengurangi pengaruh data menyimpang atau outlier yang muncul secara sesaat.

Metode *median filter* efektif untuk mengurangi pengaruh data menyimpang atau lonjakan sesaat tanpa terlalu memengaruhi nilai pengukuran utama. Oleh karena itu, metode ini digunakan untuk meningkatkan kestabilan

pembacaan jarak sensor ultrasonik sebelum data diolah menjadi tinggi, volume, dan persentase level cairan.

2.2.5 Perhitungan Level, Volume, dan Persentase Tangki

Pada sistem monitoring level tangki, data awal yang diperoleh dari sensor ultrasonik adalah nilai jarak antara sensor dengan permukaan cairan. Nilai jarak tersebut belum menunjukkan jumlah cairan di dalam tangki secara langsung, sehingga diperlukan proses perhitungan untuk mengubah nilai jarak menjadi tinggi cairan, volume cairan, dan persentase level tangki.

Perhitungan level cairan dilakukan dengan membandingkan tinggi ideal tangki terhadap jarak yang terbaca oleh sensor. Tinggi ideal merupakan jarak dari posisi sensor menuju dasar tangki saat tangki berada dalam kondisi kosong. Apabila jarak yang terbaca oleh sensor semakin kecil, maka tinggi cairan semakin besar. Sebaliknya, apabila jarak yang terbaca semakin besar, maka tinggi cairan semakin kecil.

Tinggi cairan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h = H - d$$

Dimana:

$$h = \text{tinggi cairan}$$

$$H = \text{tinggi ideal dari sensor ke dasar tangki}$$

$$d = \text{jarak sensor ke permukaan cairan}$$

Setelah tinggi cairan diperoleh, nilai tersebut dapat digunakan untuk menghitung volume cairan di dalam tangki. Pada penelitian ini, tangki yang digunakan berbentuk *frustum* atau kerucut terpancung, sehingga volume cairan dapat dihitung menggunakan persamaan volume *frustum*.

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times h \times [r_{\text{bawah}}^2 + r_{\text{bawah}} \times r_{\text{atas}} + r_{\text{atas}}^2]$$

Dimana:

$$V = \text{volume cairan}$$

$$r = \text{jari-jari tangki}$$

$$h = \text{tinggi cairan}$$

Apabila jari-jari dan tinggi cairan menggunakan satuan sentimeter, maka hasil volume yang diperoleh memiliki satuan sentimeter kubik (cm^3). Untuk mengubah volume menjadi liter, digunakan hubungan:

$$1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$$

Sehingga volume dalam satuan liter dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{\text{liter}} = \frac{V_{\text{cm}^3}}{1000}$$

Selain volume, sistem juga menghitung persentase level tangki. Persentase level digunakan agar kondisi isi tangki lebih mudah dipahami oleh pengguna. Persentase level diperoleh dari perbandingan antara volume cairan yang terukur dengan kapasitas maksimum tangki.

$$\text{Presentase} = \frac{V_{\text{terukur}}}{V_{\text{maks}}} \times 100\%$$

Keterangan:

V_{terukur} = volume cairan hasil pengukuran

V_{maks} = kapasitas maksimum tangki

Nilai persentase tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan status kondisi tangki. Status ini membantu pengguna dalam mengetahui kondisi tangki secara lebih cepat, misalnya apakah tangki berada dalam kondisi kosong, kritis, normal, *warning*, penuh atau maksimum. Dengan adanya perhitungan level, volume, dan persentase, data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan dalam bentuk informasi yang lebih mudah dipahami.

Pada sistem ini, hasil perhitungan tersebut akan diproses oleh ESP32 pada node *transmitter*. Data yang telah dihitung kemudian dikirimkan ke node *receiver* melalui komunikasi LoRa. Selanjutnya, node *receiver* akan menampilkan status melalui indikator lokal, mengirimkan notifikasi Telegram, dan menyimpan data ke Google Spreadsheet.

2.2.6 Kalibrasi Sensor dan Persentase *Error*

Kalibrasi sensor merupakan proses penyesuaian hasil pembacaan sensor terhadap nilai ideal atau nilai pembanding yang dianggap lebih mendekati

kondisi sebenarnya. Pada sistem monitoring level tangki, kalibrasi diperlukan karena hasil pembacaan sensor ultrasonik dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti posisi pemasangan sensor, permukaan cairan, suhu udara, serta pantulan gelombang ultrasonik. Dengan adanya proses kalibrasi, hasil pembacaan sensor dapat dievaluasi agar sistem menghasilkan data yang lebih akurat.

Pada penelitian ini, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap hasil pengukuran manual. Pengukuran manual dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur seperti penggaris, meteran, atau gelas ukur. Nilai hasil pengukuran manual digunakan sebagai nilai ideal, sedangkan nilai hasil pembacaan sensor digunakan sebagai nilai terukur dari sistem.

Proses kalibrasi dapat dilakukan dengan mengisi tangki pada beberapa kondisi level tertentu. Setiap kondisi level kemudian diukur secara manual dan dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor. Data hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui selisih antara nilai sensor dan nilai referensi. Selisih inilah yang disebut sebagai *error* pengukuran.

Nilai *error* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Error = |Nilai_{sensor} - Nilai_{refrensi}|$$

Keterangan:

$Nilai_{sensor}$ = hasil pembacaan sensor

$Nilai_{refrensi}$ = hasil pengukuran manual

Selain *error* dalam bentuk selisih nilai, pengujian juga dapat dinyatakan dalam bentuk persentase *error*. Persentase *error* menunjukkan seberapa besar kesalahan hasil pengukuran sensor terhadap nilai referensi.

$$Error(\%) = \frac{|Nilai_{sensor} - Nilai_{refrensi}|}{Nilai_{refrensi}} \times 100\%$$

Semakin kecil nilai persentase *error*, maka hasil pembacaan sensor semakin mendekati nilai referensi. Sebaliknya, semakin besar nilai persentase *error*, maka selisih antara hasil pembacaan sensor dan nilai sebenarnya semakin

besar. Akurasi pengukuran dapat dihitung berdasarkan nilai persentase *error*. Secara sederhana, akurasi dapat ditentukan dengan persamaan:

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

Nilai akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem dalam membaca level tangki. Apabila nilai akurasi tinggi, maka sistem dapat dikatakan mampu membaca kondisi level tangki dengan baik. Namun, apabila nilai akurasi rendah, maka diperlukan pemeriksaan ulang terhadap pemasangan sensor, proses perhitungan, atau kestabilan pembacaan data.

Pada sistem monitoring level tangki, kalibrasi dapat dilakukan terhadap beberapa parameter, seperti jarak sensor, tinggi cairan, volume, dan persentase level. Data hasil kalibrasi ini penting untuk memastikan bahwa nilai yang ditampilkan oleh sistem sesuai dengan kondisi aktual tangki. Selain itu, hasil kalibrasi juga dapat digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi performa sistem pada tahap pengujian.

Agar hasil pembacaan sensor lebih stabil, penelitian ini menggunakan *median filter* dari lima sampel. Kelima hasil pembacaan diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian nilai tengah digunakan sebagai hasil pengukuran. Metode ini bertujuan mengurangi pengaruh noise dan lonjakan sesaat tanpa menggeser nilai utama secara berlebihan, sehingga data yang digunakan untuk menghitung tinggi, volume, persentase, dan status tangki menjadi lebih stabil.

2.2.7 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan komponen pengendali yang digunakan untuk membaca data masukan, memproses data, dan mengendalikan keluaran pada suatu sistem elektronik. Pada sistem berbasis *Internet of Things*, mikrokontroler berperan sebagai pusat pemrosesan data dari sensor serta penghubung antara perangkat keras dengan sistem komunikasi.



Gambar 2-3 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan pada sistem IoT karena telah dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel berupa *Wi-Fi* dan *Bluetooth*. Selain itu, ESP32 memiliki jumlah pin *input* dan *output* yang cukup banyak, mendukung berbagai antarmuka komunikasi, serta memiliki kemampuan pemrosesan yang baik untuk aplikasi monitoring dan kontrol.



Gambar 2-4 Pinout Diagram ESP32

ESP32 merupakan *system-on-chip* yang mengintegrasikan *Wi-Fi* 2,4 GHz dan *Bluetooth* serta menyediakan berbagai periferal, seperti GPIO, ADC, UART, I2C, PWM, dan SPI. Pada penelitian ini, antarmuka SPI digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan modul LoRa SX1278 [8].

Pada prototipe ini digunakan dua buah ESP32, yaitu ESP32 pada node *transmitter* dan ESP32 pada node *receiver*. ESP32 pada node *transmitter* berfungsi untuk membaca data dari sensor ultrasonik, melakukan proses perhitungan data, dan mengirimkan hasil pengolahan melalui modul LoRa SX1278. Sementara itu, ESP32 pada node *receiver* berfungsi untuk menerima

data dari modul LoRa, mengendalikan *output* lokal berupa LED dan *buzzer*, serta mengirimkan data monitoring melalui koneksi *Wi-Fi*.

ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan komunikasi yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada sisi node *transmitter*, ESP32 dapat membaca sensor dan mengirimkan data melalui komunikasi SPI ke LoRa. Pada sisi node *receiver*, ESP32 dapat menerima data dari LoRa dan memanfaatkan fitur *Wi-Fi* untuk mengirimkan informasi ke Telegram dan Google Spreadsheet. Dengan demikian, ESP32 mampu mendukung kebutuhan sistem monitoring level tangki secara nirkabel dan berbasis IoT.

2.2.8 Teknologi LoRa

LoRa (*Long Range*) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk mengirimkan data dalam jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa umumnya digunakan dalam komunikasi *node-to-node* atau *node-to-gateway* dalam jaringan *Low Power Wide Area Network* (LPWAN). Teknologi ini menggunakan teknik modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS) yang memungkinkan transmisi data dapat menembus hambatan fisik dengan jarak efektif hingga beberapa kilometer tergantung lingkungan.

Pada sistem monitoring, LoRa digunakan ketika perangkat sensor berada pada lokasi yang tidak selalu terjangkau jaringan internet secara langsung. Data dari node sensor dapat dikirimkan terlebih dahulu ke node penerima menggunakan LoRa. Setelah data diterima, node penerima dapat meneruskan informasi tersebut ke sistem monitoring berbasis internet apabila tersedia koneksi *Wi-Fi* atau jaringan lainnya.

Beberapa parameter penting pada komunikasi LoRa antara lain *Spreading Factor* (SF), *Bandwidth* (BW), dan *Coding rate* (CR). *Spreading Factor* memengaruhi jarak jangkauan dan kecepatan pengiriman data. Semakin besar nilai *Spreading Factor*, maka sensitivitas penerimaan sinyal menjadi lebih baik dan jangkauan komunikasi dapat meningkat, tetapi waktu pengiriman data menjadi lebih lama. *Bandwidth* menunjukkan lebar pita frekuensi yang

digunakan dalam komunikasi, sedangkan *Coding rate* berhubungan dengan kemampuan koreksi kesalahan data yang diterima.

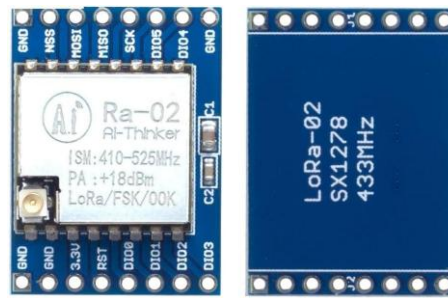
Secara umum, hubungan antara parameter LoRa menunjukkan adanya pertukaran antara jarak, kecepatan data, dan keandalan komunikasi. Pengaturan parameter yang lebih mengutamakan jarak biasanya menghasilkan kecepatan data yang lebih rendah. Sebaliknya, pengaturan yang mengutamakan kecepatan dapat mengurangi jangkauan komunikasi. Oleh karena itu, pemilihan parameter LoRa perlu disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

Pada penelitian ini, komunikasi LoRa digunakan secara langsung atau *point-to-point* antara node *transmitter* dan node *receiver*. Node *transmitter* mengirimkan data hasil monitoring level tangki menuju node *receiver* tanpa menggunakan kabel. Data yang dikirimkan berupa informasi hasil pengukuran dan status level tangki. Karena data yang dikirim berukuran kecil dan tidak membutuhkan kecepatan tinggi, LoRa sesuai digunakan pada sistem monitoring level tangki solar.

Penggunaan LoRa pada sistem ini bertujuan agar node *transmitter* dapat ditempatkan di sekitar tangki, sedangkan node *receiver* dapat diletakkan pada lokasi lain yang memiliki akses *Wi-Fi*. Melalui konfigurasi ini, node *transmitter* tetap dapat mengirimkan data ke node *receiver* meskipun tidak terhubung langsung ke internet.

2.2.9 Modul LoRa SX1278

Modul LoRa SX1278 merupakan modul komunikasi nirkabel yang digunakan untuk mengirim dan menerima data menggunakan teknologi LoRa. Modul ini bekerja sebagai *transceiver*, yaitu perangkat yang dapat berfungsi sebagai pemancar dan penerima sinyal radio. Pada sistem monitoring level tangki solar, modul LoRa SX1278 digunakan pada node *transmitter* dan node *receiver* sebagai media komunikasi antarnode. Penggunaan LoRa sangat ideal untuk sistem monitoring tangki jarak jauh di mana perangkat pemancar dan penerima tidak terhubung oleh jaringan internet secara langsung.



Gambar 2-5 Modul LoRa SX1278

Modul LoRa SX1278 bekerja pada frekuensi 433 MHz. Frekuensi ini termasuk dalam kategori frekuensi radio sub-GHz, sehingga memiliki kemampuan propagasi sinyal yang cukup baik untuk komunikasi jarak jauh. Penggunaan frekuensi 433 MHz juga membuat modul ini sesuai digunakan pada sistem monitoring yang membutuhkan pengiriman data antarnode tanpa kabel.

Modul SX1278 bekerja pada pita UHF bawah dengan rentang frekuensi 137–525 MHz. Perangkat ini menyediakan pilihan *spreading factor* 6–12 dan *bandwidth* 7,8–500 kHz serta bekerja pada tegangan 1,8–3,7 V [9].

Pada sistem berbasis mikrokontroler, modul LoRa SX1278 umumnya dihubungkan menggunakan komunikasi SPI atau *Serial Peripheral Interface*. SPI merupakan salah satu metode komunikasi serial yang memungkinkan pertukaran data antara mikrokontroler dan modul eksternal. Pada komunikasi SPI, terdapat beberapa jalur utama, yaitu MOSI, MISO, SCK, dan NSS/CS. Berikut fungsi pin utama modul LoRa SX1278 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2-2 Pin LoRa SX1278 dan Fungsinya

Pin LoRa SX1278	Fungsi
3.3V	Sumber tegangan modul
GND	Ground rangkaian
SCK	Clock komunikasi SPI
MISO	Jalur data dari LoRa ke mikrokontroler
MOSI	Jalur data dari mikrokontroler ke LoRa
NSS/CS	Pemilih perangkat SPI
RST	Reset modul LoRa

DIO0	Pin <i>interrupt</i> untuk proses pengiriman/penerimaan data
ANT	Koneksi menuju antenna

Modul LoRa SX1278 bekerja pada tegangan 3,3 V, sehingga tidak boleh diberi tegangan 5 V secara langsung. Pada sistem ini, modul LoRa SX1278 dihubungkan dengan ESP32 karena keduanya menggunakan level tegangan logika 3,3 V. Hal ini memudahkan proses integrasi antara ESP32 dan modul LoRa tanpa memerlukan rangkaian penyesuaian level tegangan pada jalur komunikasi SPI.

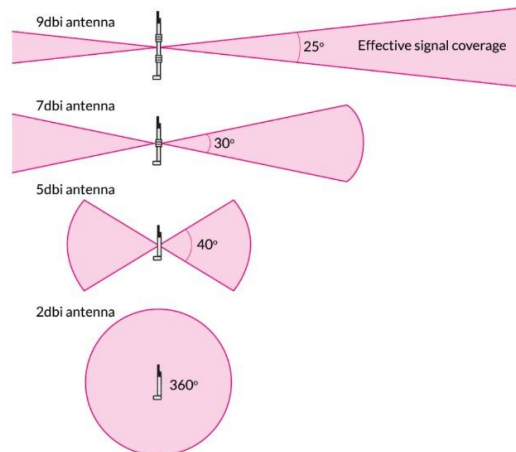
Selain mengirim dan menerima data, modul LoRa SX1278 juga dapat digunakan untuk membaca kualitas sinyal komunikasi, salah satunya melalui nilai RSSI. RSSI atau *Received Signal Strength Indicator* merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima oleh modul LoRa. Nilai RSSI dapat digunakan untuk mengetahui kualitas komunikasi antara node *transmitter* dan node *receiver*. Semakin besar nilai RSSI atau semakin mendekati nol, maka sinyal yang diterima semakin kuat.

Pada sistem ini, antenna yang digunakan adalah antenna LoRa dengan frekuensi kerja 433 MHz, sesuai dengan frekuensi kerja modul LoRa SX1278. Kesesuaian frekuensi antara antenna dan modul sangat penting agar proses transmisi dan penerimaan sinyal dapat berjalan optimal. Apabila antenna yang digunakan tidak sesuai dengan frekuensi modul, maka jangkauan komunikasi dapat berkurang, sinyal menjadi lemah, bahkan data dapat gagal diterima.



Gambar 2-6 Antena 433 MHz

Antena tersebut memiliki impedansi sebesar $50\ \Omega$ dengan konektor SMA male dan dihubungkan ke modul LoRa melalui kabel pigtail IPEX/U.FL menuju SMA female. Kesesuaian frekuensi dan impedansi diperlukan untuk mendukung proses pemancaran dan penerimaan sinyal radio secara optimal serta mengurangi terjadinya ketidaksesuaian impedansi pada jalur transmisi.



Gambar 2-7 Nilai Gain Antena

Berdasarkan Gambar 2.6, nilai gain antena memengaruhi bentuk dan lebar pola radiasi yang dihasilkan. Antena dengan gain rendah memiliki cakupan vertikal yang lebih lebar, tetapi energi pancarannya tersebar pada area yang lebih luas. Sebaliknya, semakin besar nilai gain antena, energi pancaran semakin dipusatkan pada arah horizontal sehingga jangkauan komunikasi pada arah tersebut dapat meningkat, tetapi sudut cakupan vertikal menjadi lebih sempit.

Antena pada prototipe ini memiliki panjang sekitar 16 cm dengan gain nominal 7–8 dBi. Nilai gain tersebut menunjukkan kemampuan antena dalam memusatkan energi pancaran pada arah tertentu sehingga dapat membantu meningkatkan kekuatan sinyal dan jangkauan komunikasi. Antena dilengkapi kabel koaksial tipe RG174 sepanjang 3 meter yang memberikan fleksibilitas dalam menentukan posisi pemasangan antena agar dapat ditempatkan di luar kotak rangkaian dan pada lokasi yang lebih tinggi atau minim penghalang.

Pada bagian bawah antena terdapat basis magnetik berdiameter sekitar 30 mm yang berfungsi sebagaiudukan agar antena dapat dipasang dengan stabil pada permukaan logam. Dalam penerapannya, antena diposisikan secara vertikal

untuk memperoleh pola pancaran yang lebih sesuai antara node *transmitter* dan node *receiver*. Meskipun kabel sepanjang 3 meter mempermudah penempatan antena, panjang kabel tersebut juga dapat menimbulkan rugi-rugi daya pada jalur transmisi. Oleh karena itu, kabel dipasang tanpa gulungan yang terlalu rapat dan antena ditempatkan sejauh mungkin dari sumber gangguan elektromagnetik.

2.2.10 Sistem Catu Daya

Sistem catu daya merupakan bagian yang berfungsi untuk menyediakan tegangan dan arus listrik bagi seluruh komponen elektronik pada suatu sistem. Pada perangkat berbasis mikrokontroler, kestabilan catu daya sangat penting karena tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan sistem mengalami reset, pembacaan sensor tidak akurat, atau komunikasi data terganggu. Oleh karena itu, rancangan catu daya perlu disesuaikan dengan kebutuhan tegangan dan arus dari setiap komponen yang digunakan.

2.2.9.1 Sistem Catu Daya pada Node *Transmitter*

Pada node *transmitter*, sumber daya utama menggunakan baterai 18650 Li-ion. Baterai lithium-ion merupakan jenis baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan banyak digunakan sebagai sumber energi pada perangkat elektronik portabel. Baterai ini dipilih karena memiliki kapasitas yang cukup besar, dapat digunakan berulang kali, dan sesuai untuk perangkat yang membutuhkan sumber daya mandiri. Penggunaan baterai pada node *transmitter* membuat alat dapat ditempatkan di sekitar tangki tanpa harus selalu terhubung langsung dengan sumber listrik PLN. Secara umum, baterai lithium-ion terdiri atas elektroda positif atau katoda, elektroda negatif atau anoda, elektrolit, dan separator. Elektrolit berfungsi sebagai media perpindahan ion litium, sedangkan separator berfungsi mencegah kontak langsung antara elektroda positif dan elektroda negatif yang dapat menyebabkan hubung singkat.

Prinsip kerja baterai lithium-ion didasarkan pada perpindahan ion litium antara anoda dan katoda. Pada saat baterai digunakan atau mengalami proses pengosongan, ion litium bergerak dari anoda menuju katoda melalui elektrolit. Pada saat yang sama, elektron mengalir melalui rangkaian luar dan

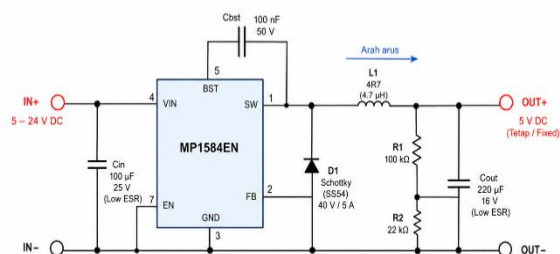
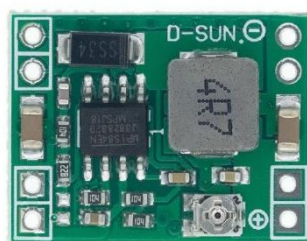
menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk mencatu beban. Pada saat proses pengisian, arah perpindahan ion litium dan aliran elektron berlangsung secara berlawanan sehingga energi listrik kembali disimpan di dalam baterai.



Gambar 2-8 Baterai 18650 Li-ion

Pada sistem ini, baterai 18650 disusun dalam konfigurasi 2S, yaitu dua baterai yang dirangkai secara seri. Konfigurasi seri digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran baterai. Satu sel baterai Li-ion umumnya memiliki tegangan nominal sekitar 3,6–3,7 V dan tegangan penuh sekitar 4,2 V. Dengan konfigurasi 2S, tegangan nominal yang dihasilkan sekitar 7,4 V dan tegangan penuh sekitar 8,4 V.

Karena tegangan baterai 2S lebih tinggi dari tegangan kerja ESP32 dan komponen lainnya, maka diperlukan rangkaian penurun tegangan. Pada sistem ini digunakan DC-DC buck converter MP1584EN. Buck converter merupakan rangkaian konverter DC yang berfungsi menurunkan tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang lebih rendah. Modul MP1584EN digunakan untuk menurunkan tegangan dari baterai 2S menjadi tegangan yang sesuai dengan kebutuhan rangkaian, yaitu 5 V untuk menyuplai *board* ESP32 melalui pin VIN.



Gambar 2-9 Modul MP1584EN

Modul buck converter MP1584EN terdiri atas IC MP1584EN sebagai pengendali utama, induktor 4R7, dioda Schottky, kapasitor masukan dan keluaran, serta rangkaian *feedback*. IC MP1584EN mengendalikan proses pensaklaran MOSFET internal, sedangkan induktor berfungsi menyimpan dan melepaskan energi. Dioda Schottky menyediakan jalur arus ketika MOSFET dalam kondisi OFF, sementara kapasitor digunakan untuk mengurangi ripple dan menstabilkan tegangan masukan maupun keluaran.

Rangkaian *feedback* terdiri atas resistor pembagi tegangan yang mengirimkan sebagian tegangan keluaran. Tegangan tersebut dibandingkan dengan tegangan referensi internal sehingga IC dapat mengatur *duty cycle* secara otomatis. Dengan pengaturan tersebut, tegangan keluaran dapat dipertahankan pada nilai sekitar 5 V meskipun terjadi perubahan tegangan baterai atau beban.

Pada node *transmitter*, modul MP1584EN digunakan untuk menurunkan tegangan dari dua baterai lithium-ion yang disusun seri menjadi 5 V. Tegangan tersebut digunakan untuk mencatu ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04, sedangkan modul LoRa SX1278 Ra-02 memperoleh tegangan 3,3 V. Secara keseluruhan, kombinasi proses pensaklaran, penyimpanan energi pada induktor, dan penyaringan oleh kapasitor menghasilkan tegangan keluaran DC yang lebih rendah dan stabil.

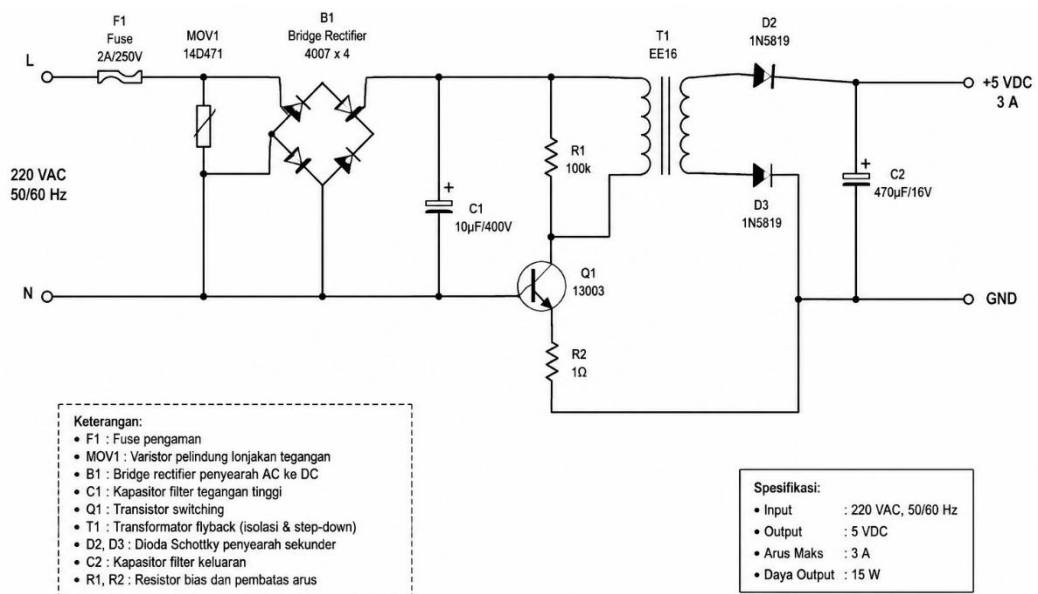
2.2.9.2 Sistem Catu Daya pada Node *Receiver*

Pada node *receiver*, sumber daya diperoleh dari unit *switched-mode power supply* (SMPS) siap pakai dengan tegangan keluaran sebesar 5 VDC dan kemampuan arus maksimum 3 A. Catu daya tersebut digunakan untuk menyuplai ESP32 dan perangkat pendukung pada node *receiver*, seperti modul LoRa, LED indikator, dan *buzzer*. Penggunaan SMPS dipilih karena node *receiver* ditempatkan di dekat sumber listrik dan membutuhkan tegangan yang stabil untuk menerima data LoRa, mengendalikan indikator, serta mengirimkan data melalui jaringan *Wi-Fi*.



Gambar 2-10 Power supply 5V

PSU tersebut berfungsi mengubah tegangan listrik 220 VAC dari jaringan menjadi tegangan 5 VDC yang lebih rendah dan stabil. Nilai 3 A menunjukkan kemampuan arus maksimum yang dapat disediakan oleh PSU, sedangkan besarnya arus aktual yang digunakan bergantung pada kebutuhan beban rangkaian. Dengan tegangan keluaran 5 V dan arus maksimum 3 A, PSU memiliki kapasitas daya keluaran nominal sebesar 15 W.



Gambar 2-11 Rangkaian Power supply 5V 3A

Proses kerja SMPS dimulai ketika tegangan 220 VAC melewati fuse dan varistor sebagai bagian proteksi rangkaian. Tegangan AC kemudian disearahkan menjadi tegangan DC menggunakan *bridge rectifier* dan diratakan oleh kapasitor pada sisi primer. Selanjutnya, transistor *switching* memutus dan menghubungkan aliran listrik dengan cepat sehingga menghasilkan pulsa berfrekuensi tinggi yang diteruskan menuju *transformator ferrite*.

Transformator ferrite berfungsi menurunkan tegangan sekaligus memberikan isolasi listrik antara sisi primer yang terhubung dengan jaringan PLN dan sisi sekunder bertegangan rendah. Pada sisi sekunder, tegangan disearahkan oleh dioda dan diratakan menggunakan kapasitor filter sehingga diperoleh keluaran 5 VDC yang stabil. Pada unit SMPS komersial, umumnya terdapat rangkaian pengendali, umpan balik, filter, dan proteksi tambahan yang tidak ditampilkan pada gambar karena diagram tersebut hanya digunakan untuk menjelaskan prinsip kerja secara sederhana.

Penggunaan SMPS memberikan beberapa keuntungan, yaitu memiliki ukuran yang lebih ringkas, efisiensi yang relatif tinggi, serta menghasilkan panas yang lebih rendah dibandingkan catu daya linear. Susunan dan nilai komponen internal PSU yang digunakan pada prototipe dapat berbeda dengan diagram pada gambar karena produsen tidak menyediakan skema internal secara rinci.

2.2.11 Notifikasi IoT dengan Telegram

Telegram merupakan aplikasi pesan instan yang dapat digunakan sebagai media pengiriman notifikasi pada sistem *Internet of Things*. Dalam sistem monitoring, Telegram dapat dimanfaatkan untuk mengirimkan informasi kondisi alat secara jarak jauh kepada pengguna. Notifikasi tersebut dapat berupa data hasil pengukuran, status sistem, maupun peringatan ketika suatu parameter berada pada batas tertentu.

Pengiriman notifikasi melalui Telegram dapat dilakukan menggunakan Telegram Bot API. Bot pada Telegram merupakan akun khusus yang dapat dikendalikan oleh program untuk mengirim dan menerima pesan secara otomatis. Telegram Bot API menyediakan antarmuka berbasis HTTP yang memungkinkan perangkat atau server mengirimkan pesan ke pengguna melalui bot. Salah satu metode yang digunakan untuk mengirim pesan adalah *sendMessage*, yaitu metode untuk mengirim pesan teks ke chat tertentu.

Pada sistem monitoring level tangki solar, Telegram digunakan sebagai media peringatan jarak jauh. Data yang dikirimkan dapat berupa informasi hasil pembacaan sistem, seperti volume solar, persentase level tangki, status kondisi

tangki, dan nilai RSSI komunikasi LoRa. Dengan adanya notifikasi Telegram, pengguna dapat mengetahui kondisi tangki tanpa harus berada langsung di lokasi alat.

Notifikasi Telegram dapat dikirimkan secara berkala atau berdasarkan kondisi tertentu. Pada sistem monitoring level tangki, pengiriman notifikasi berdasarkan kondisi tertentu lebih efektif karena pesan hanya dikirim ketika terdapat perubahan status atau ketika level tangki berada pada kondisi yang membutuhkan perhatian. Misalnya, ketika status tangki berada pada kondisi kritis, sistem dapat mengirimkan pesan peringatan agar pengguna segera melakukan pengisian ulang.

Pada penelitian ini, pengiriman notifikasi Telegram dilakukan oleh ESP32 pada node *receiver*. Hal ini karena node *receiver* terhubung ke jaringan *Wi-Fi*, sedangkan node *transmitter* hanya bertugas membaca data sensor dan mengirimkan data menggunakan LoRa. Dengan pembagian fungsi tersebut, node *receiver* berperan sebagai penghubung antara data yang diterima dari LoRa dengan layanan internet seperti Telegram.

Penggunaan Telegram pada sistem ini bertujuan untuk memberikan informasi secara cepat kepada pengguna apabila terjadi perubahan kondisi pada level tangki. Selain itu, Telegram juga memudahkan pengguna untuk menerima notifikasi melalui smartphone tanpa memerlukan aplikasi monitoring khusus yang dibuat secara terpisah.

2.2.12 Google Spreadsheet sebagai Media Penyimpanan Data

Google Spreadsheet merupakan layanan pengolah data berbasis *cloud* yang dapat digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menampilkan data dalam bentuk tabel. Pada sistem monitoring berbasis *Internet of Things*, Google Spreadsheet dapat dimanfaatkan sebagai media pencatatan data hasil pembacaan sensor secara otomatis. Dengan penyimpanan berbasis *cloud*, data monitoring dapat diakses kembali oleh pengguna melalui perangkat yang terhubung ke internet.

Pada sistem monitoring level tangki, pencatatan data diperlukan untuk mengetahui riwayat perubahan level cairan dari waktu ke waktu. Data yang tersimpan dapat digunakan sebagai bahan analisis, evaluasi kinerja sistem, serta dokumentasi hasil pengujian. Selain itu, penyimpanan data secara otomatis dapat mengurangi risiko kehilangan data dibandingkan pencatatan manual.

Pengiriman data dari mikrokontroler ke Google Spreadsheet dapat dilakukan dengan bantuan Google Apps Script. Google Apps Script merupakan platform pemrograman berbasis JavaScript yang dapat digunakan untuk menghubungkan Google Spreadsheet dengan perangkat atau layanan lain. Pada sistem IoT, Google Apps Script dapat dibuat sebagai *Web App* yang menerima data dari ESP32 melalui koneksi internet, kemudian menyimpan data tersebut ke dalam baris baru pada Google Spreadsheet.

Secara umum, proses penyimpanan data ke Google Spreadsheet dimulai ketika ESP32 *receiver* menerima data dari node *transmitter*. Data yang telah diterima kemudian diproses dan dikirimkan melalui koneksi *Wi-Fi* menuju alamat *Web App* Google Apps Script. Setelah data diterima oleh Google Apps Script, data tersebut akan dimasukkan ke dalam tabel Google Spreadsheet sesuai format kolom yang telah ditentukan.