

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Proses dan segala bentuk penulisan proyek penelitian ini menggunakan acuan atau referensi sebagai bahan dan sumber penelitian yang dilakukan. Beberapa referensi terkait penelitian yang menunjang disampaikan pada BAB ini.

[1] Pada Tesis S2 Program Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang berjudul Prototipe Sistem *Monitoring* Daya Listrik Berbasis *Internet of Things (IoT)* Menggunakan Metode *Exponential Smoothing* Untuk Prediksi Kebutuhan Energi.

[2] Pada Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang berjudul *Molection Monitoring* Konsumsi Energi Listrik Pada Kamar Kos Berbasis *IoT* dan *Progressive Website Apps*.

[3] Pada Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang berjudul Sistem *Monitoring* Penggunaan Energi Perangkat Listrik Rumah Via Bot Telegram.

Ketiga referensi yang dikaji memiliki kontribusi penting dalam bidang *monitoring* energi, seperti metode *Exponential Smoothing* untuk prediksi pada penelitian [1], integrasi sistem notifikasi berbasis *Threshold* dan kontrol jarak jauh menggunakan ESP32 dan PWA pada penelitian [2], serta pemanfaatan Bot Telegram sebagai antarmuka *monitoring* dan kendali pada penelitian [3].

Namun, seluruh studi tersebut belum mengadopsi pendekatan deteksi anomali parameter kelistrikan secara mendalam yang berfokus pada analisis pola data untuk mengidentifikasi penyimpangan tidak normal/ terdapat lonjakan arus (anomali). Selain itu, meskipun penelitian [3] telah menggunakan Bot Telegram, sistem tersebut

belum mengintegrasikan agar menghasilkan *chatbot* AI yang mampu mengeksplorasi data secara adaptif dan kontekstual.

Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi baru melalui sistem yang dirancang untuk mendeteksi anomali (lonjakan arus/penyimpangan pola) pada parameter kelistrikan. Serta memberikan pemahaman yang lebih canggih tentang masalah kelistrikan dibandingkan notifikasi statis biasa. Dengan penggabungan *chatbot* AI yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan data energi secara cerdas, meminta laporan spesifik, atau mendapatkan penjelasan mengenai anomali yang terdeteksi yang jauh lebih interaktif dan informatif dari pada sekadar perintah bot.

2.2 Konsep Dasar *Internet Of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep teknologi mutakhir yang telah menjadi hal lumrah dan semakin banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Tujuan utama dari teknologi ini adalah untuk menciptakan jembatan koneksi antara dunia fisik dengan dunia digital. Dalam praktiknya, objek-objek di dunia nyata diukur dan diolah oleh sensor untuk diterjemahkan menjadi data digital yang dapat dibaca oleh komputer (proses digitasi).

Kemudian, data digital tersebut akan dikonversi menjadi instruksi yang siap dieksekusi oleh aktuator (penggerak) untuk menjalankan tindakan tertentu. Secara esensial, IoT membentuk sebuah jaringan yang memungkinkan transfer data dan kontrol jarak jauh terhadap objek-objek tersebut melalui infrastruktur jaringan yang telah tersedia [4].

Dalam konsep *Internet of Things* (IoT), setiap objek baik yang bersifat fisik maupun virtual memiliki identitas unik dan dapat terhubung melalui antarmuka pintar (*smart interface*). Semua objek tersebut saling berinteraksi dan membentuk sebuah jaringan informasi yang saling terintegrasi. Dengan kata lain, IoT merupakan kumpulan perangkat yang saling terhubung dan dapat dikenali secara individual dalam suatu sistem jaringan

Istilah “Internet” dan “*Things*” menggambarkan sebuah jaringan global yang memungkinkan berbagai benda untuk berkomunikasi dan bertukar data menggunakan sensor, sistem komunikasi, jaringan, serta teknologi pemrosesan informasi. Melalui

konektivitas ini, IoT memungkinkan berbagai perangkat untuk bekerja sama secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung.

Berbagai teknologi berperan penting dalam perkembangan IoT, diantaranya jaringan sensor *nirkabel* (*Wireless Sensor Networks* atau *WSNs*), *barcode*, *Artificial Intelligence* (AI), RFID, NFC, dan komputasi awan (*cloud computing*). Masing-masing teknologi tersebut memiliki fungsi yang saling melengkapi dalam mendukung proses pengumpulan, pengiriman, serta analisis data dari berbagai perangkat.

Secara umum, IoT dapat dianggap sebagai generasi lanjutan dari internet yang memungkinkan benda-benda fisik di dunia nyata untuk diakses, diidentifikasi, dan dikendalikan melalui jaringan internet. Bergantung pada teknologi yang digunakan dalam penerapannya, definisi IoT bisa bervariasi. Dalam sistem IoT, setiap perangkat mampu mentransfer data secara otomatis, dan jika diperlukan dapat pula memproses data tersebut sesuai dengan skema atau aturan yang telah ditentukan sebelumnya [4].

Definisi lain mengemukakan bahwa *Internet of Things* (IoT) adalah teknologi memfasilitasi konektivitas dan interaksi yang berkelanjutan antara objek-objek cerdas (*smart objects*) melalui jaringan internet. Konsep ini melibatkan kemampuan objek-objek cerdas untuk saling berinteraksi, baik dengan objek lain dengan lingkungan sekitar maupun dengan perangkat komputasi cerdas yang semuanya terintegrasi melalui jaringan internet. Lebih jauh lagi, penerapan IoT mencakup fungsi untuk mengidentifikasi menemukan, melacak, memantau objek, dan bahkan memicu suatu kejadian (*event*) terkait secara otomatis dan *real-time* [5].

2.2.1 Komponen dan Sistem Kerja IoT

Internet of Things (IoT) mampu menciptakan sebuah ekosistem internet yang menyeluruh dan memudahkan masyarakat dalam mengakses berbagai teknologi pintar yang telah terintegrasi secara otomatis. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat memanfaatkan layanan dan perangkat digital kapan saja dan di mana saja. IoT hadir sebagai teknologi yang mendukung konektivitas tanpa batas antara manusia, perangkat, dan sistem melalui jaringan internet.

Menurut Santoso dan Ramli (2016), IoT memiliki tiga karakteristik utama. Pertama, setiap objek dilengkapi dengan perangkat atau alat pengukur yang berfungsi untuk mengumpulkan data. Kedua, terdapat terminal-terminal otonom yang saling

terhubung dalam suatu jaringan komunikasi. Ketiga, IoT menyediakan berbagai layanan yang bersifat cerdas, memungkinkan sistem untuk merespons dan mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan informasi yang diperoleh.

Lebih lanjut, Clark (2016) menjelaskan bahwa IoT bekerja melalui beberapa tahapan proses utama. Pertama, setiap perangkat akan terhubung ke *platform* IoT sebagai pusat pengelolaan data. Kedua, perangkat tersebut kemudian mengintegrasikan berbagai data yang dikumpulkan dari beragam sumber dengan bantuan koneksi internet. Ketiga, data yang telah terkumpul akan dianalisis untuk mendapatkan informasi yang bermakna.

Tahapan berikutnya adalah proses seleksi informasi oleh *platform* IoT yang kuat, yang mampu menentukan mana data yang penting dan mana yang dapat diabaikan dengan aman. Informasi yang telah diolah tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi pola, memberikan rekomendasi, serta memprediksi potensi masalah sebelum benar-benar terjadi. Dengan cara ini, IoT tidak hanya berfungsi sebagai sistem otomatisasi, tetapi juga sebagai alat analisis cerdas yang mendukung pengambilan keputusan yang lebih efisien [6].

2.2.2 Peran, Manfaat dan Integrasi IoT

Internet of Things (IoT) bertindak sebagai teknologi yang membawa inovasi dengan menghubungkan objek di sekitar kita ke internet, sehingga aktivitas harian dapat dijalankan dengan lebih mudah dan efisien. Manfaat dan signifikansi IoT terlihat jelas dari semakin masifnya aplikasinya di berbagai lini kehidupan kontemporer. Secara fungsional, dengan menghubungkan perangkat fisik melalui internet, IoT memungkinkan pertukaran data dan informasi secara *real-time* [7].

Proses kerja *Internet of Things* (IoT) melibatkan pemrograman yang dirancang untuk memberikan instruksi tertentu kepada mesin tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung. Setiap perintah yang diprogram memungkinkan perangkat untuk bekerja secara otomatis berdasarkan kondisi atau data yang diterima. Semua proses ini berjalan dengan dukungan sambungan atau koneksi internet yang menjadi penghubung utama antar perangkat.

Dalam penerapannya, IoT mengelola dan memproses data yang diperoleh dari berbagai peralatan elektronik. Data tersebut dikirim dan diolah melalui suatu *interface*

yang berfungsi sebagai penghubung antara pengguna dan perangkat. Melalui *interface* ini, pengguna dapat memantau, mengatur, atau memberikan perintah kepada perangkat secara efisien dan terintegrasi.

Selain itu, penggunaan sensor secara *real-time* menjadi komponen penting dalam sistem IoT. Sensor berfungsi untuk menangkap informasi dari lingkungan sekitar dan mengubahnya ke dalam format yang dapat dimengerti oleh mesin. Data yang telah dikonversi ini kemudian dapat dipertukarkan dengan mudah antar perangkat, meskipun berasal dari berbagai jenis format atau sistem yang berbeda (*things*) [7].

2.2.3 Protokol Komunikasi Pada Sistem IoT

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan berbagai keuntungan dalam beragam bidang layanan, khususnya pada sistem yang mengintegrasikan sensor dengan teknologi informasi, seperti pada sektor manufaktur. Dalam proses integrasi tersebut, setiap perangkat memiliki identitas, atribut, serta karakteristik tertentu yang memungkinkan perangkat-perangkat tersebut saling berkomunikasi melalui jaringan internet. Salah satu komponen penting yang mendukung komunikasi ini adalah penggunaan protokol komunikasi data (Irianto dkk., 2018).

Dalam implementasi teknologi IoT, terdapat beberapa protokol komunikasi data yang umum digunakan untuk keperluan *sensing* dan *monitoring*, di antaranya *Near Field Communication* (NFC), *Bluetooth Low Energy* (BLE), MQTT, HTTP, dan HTTPS (Bhawiyuga dkk., 2018; Meutia, 2015). Protokol-protokol tersebut telah banyak diterapkan pada berbagai penelitian yang mengembangkan sistem berbasis IoT.

Beberapa penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Suryatini dkk. (2021), memanfaatkan protokol MQTT untuk mengirimkan data suhu dan kelembapan yang diperoleh dari sensor DHT22 ke jaringan internet. Pendekatan serupa juga diterapkan pada penelitian Salam. (2021), di mana MQTT digunakan sebagai media komunikasi antara perangkat sensor dan platform internet. Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Ridwan dkk. (2021) menggunakan protokol HTTP dalam implementasi sistem IoT yang dikembangkan.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa protokol komunikasi yang banyak digunakan dalam sistem IoT terbagi ke dalam dua kategori utama, yaitu MQTT dan HTTP. Hasil evaluasi kinerja sistem-sistem tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, yaitu sebesar $\geq 90\%$. Selain itu, jenis sensor yang digunakan dalam penelitian IoT bervariasi, mulai dari sensor sederhana hingga sensor dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi, seperti sensor dan kelembapan[8].

2.3 Kecerdasan Buatan *Artificial Intelligence* (AI)

Kecerdasan buatan *Artificial Intelligence* (AI) telah melalui berbagai fase perkembangan yang penuh dengan harapan dan kekecewaan. Hal ini sebagian besar terjadi karena banyak orang belum sepenuhnya memahami apa itu sebenarnya AI itu dan apa tujuan utamanya. Salah satu penyebab utama kesalahpahaman ini berasal dari pengaruh media populer seperti film, acara televisi, dan buku yang sering memberikan gambaran berlebihan tentang kemampuan AI. Selain itu, kecenderungan manusia untuk menganggap teknologi seolah-olah memiliki sifat manusia (*antropomorfisme*) membuat AI tampak lebih “cerdas” dari kenyataannya. Oleh karena itu, langkah pertama dalam memahami AI adalah mendefinisikan apa yang dimaksud dengan kecerdasan buatan, apa yang bukan, serta bagaimana kaitannya dengan sistem komputer modern.

Pada dasarnya, pemahaman seseorang terhadap AI dipengaruhi oleh bagaimana ia mendefinisikan konsep tersebut, teknologi yang tersedia untuk mengimplementasikannya serta tujuan yang ingin dicapai melalui penggunaannya. Karena itu, pandangan tentang AI dari berbagai perspektif tidak terlalu mengikuti euforia yang dibawa para pendukung, namun juga tidak terjebak pada pandangan pesimis dari para penantanginya. Dengan pendekatan ini, pembaca diharapkan mendapatkan pemahaman yang realistis mengenai kemampuan dan batasan AI. Sangat penting untuk memahami apa yang benar-benar bisa dilakukan teknologi ini, daripada menaruh harapan pada hal-hal yang belum tentu dapat dicapai.

Sebelum istilah “AI” digunakan secara bermakna, perlu ada definisi yang jelas tentang apa yang dimaksud dengan kecerdasan buatan. Jika tidak ada kesepakatan tentang maknanya. Istilah tersebut hanya menjadi kumpulan kata tanpa arti konkret.

Hal ini sangat penting terutama untuk istilah teknis seperti AI yang sering mendapatkan sorotan luas di berbagai media. Menyebut AI sebagai “kecerdasan buatan” saja tidak cukup menjelaskan substansi dari konsep tersebut. Meskipun “*artificial*” berarti tidak alami, bagian “*intelligence*” masih menimbulkan banyak perdebatan.

Kecerdasan sendiri dapat diartikan melalui berbagai sudut pandang, namun secara umum mencakup beberapa kemampuan mental, seperti belajar yaitu kemampuan memperoleh dan memproses informasi baru seperti penalaran yakni kemampuan untuk memanipulasi informasi serta pemahaman yaitu kemampuan menafsirkan hasil dari proses berpikir tersebut. Selain itu, kecerdasan juga mencakup kemampuan untuk menilai kebenaran informasi, melihat hubungan antar data, mempertimbangkan makna dalam konteks tertentu serta membedakan fakta dari opini atau keyakinan.

Dari proses-proses tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecerdasan melibatkan langkah-langkah logis yang sebenarnya bisa disimulasikan oleh komputer, seperti menetapkan tujuan, menilai dan mengumpulkan data, memanipulasi informasi, menentukan hubungan antar data, serta mengevaluasi hasilnya. Namun, meskipun komputer mampu mengikuti prosedur ini melalui algoritma dan perhitungan matematis, kemampuannya masih sangat terbatas. Komputer tidak benar-benar “memahami” data yang diprosesnya, karena semua operasinya bersifat mekanis dan berbasis logika matematis.

Dengan demikian, tidak ada komputer yang sepenuhnya mampu meniru seluruh aspek kecerdasan manusia. Keterbatasan ini membuat penting untuk memahami bahwa AI hanyalah simulasi kecerdasan, bukan kecerdasan sejati. Sebagai makhluk berpikir, manusia mengandalkan berbagai bentuk kecerdasan seperti logis, emosional, sosial, dan kreatif yang tidak dapat sepenuhnya direplikasi oleh mesin. Oleh sebab itu, ketika membicarakan AI, kita perlu memandangnya sebagai alat bantu untuk meniru sebagian kecil dari proses berpikir manusia, bukan sebagai pengganti manusia itu sendiri.

Meskipun beberapa sistem AI dirancang untuk meniru perilaku manusia, hal tersebut hanyalah simulasi. AI bekerja melalui interaksi antara pencarian tujuan, pemrosesan data, dan pengumpulan informasi yang membantu mencapai tujuan

tertentu. Semua proses ini dilakukan melalui algoritma, yang hasilnya belum tentu sejalan dengan cara manusia berpikir atau bertindak. Berdasarkan hal tersebut, AI dapat dikategorikan ke dalam 4 pendekatan utama.

Pertama, AI yang bertindak seperti manusia yang diukur melalui turing test. Dalam kategori ini, komputer dianggap berhasil jika manusia tidak dapat membedakan antara respons komputer dan manusia. Untuk mencapai hal ini, sistem harus memiliki kemampuan seperti pemrosesan bahasa alami, representasi pengetahuan, penalaran otomatis, dan pembelajaran mesin. Versi modernnya, *Total turing test*, bahkan menambahkan unsur fisik seperti penglihatan komputer dan robotika agar AI dapat berinteraksi secara lebih nyata dengan lingkungannya.

Kedua, AI yang berpikir seperti manusia yaitu ketika komputer mencoba meniru proses berpikir manusia melalui pendekatan pemodelan kognitif. Pendekatan ini dilakukan dengan tiga metode utama: introspeksi (menganalisis proses berpikir diri sendiri), pengujian psikologis (mengamati perilaku manusia dalam kondisi tertentu) dan pencitraan otak (menggunakan alat seperti MRI, PET, atau MEG). Namun, karena cara berpikir manusia sangat kompleks dan bervariasi, hasil dari pendekatan ini umumnya masih bersifat eksperimental.

Ketiga, AI yang berpikir secara rasional yang berfokus pada kemampuan komputer untuk memecahkan masalah berdasarkan logika dan prinsip rasionalitas. Komputer mengikuti pola perilaku yang dianggap “benar” menurut standar tertentu, kemudian menggunakannya untuk mengambil keputusan yang logis. Pendekatan ini menekankan pembuatan algoritma dan metode sistematis untuk menemukan solusi terbaik secara teoretis, meskipun penerapannya di dunia nyata bisa berbeda.

Keempat, AI yang bertindak secara rasional yaitu sistem yang mengambil keputusan dan tindakan paling efisien berdasarkan kondisi dan data yang tersedia. Dalam hal ini, AI tidak hanya berpikir logis, tetapi juga beradaptasi dengan lingkungan untuk mencapai tujuan dengan cara yang paling efektif. Pendekatan ini menyesuaikan tindakannya terhadap situasi yang berubah-ubah [9].

Perkembangan kecerdasan buatan AI pada tahun 1990 membawa kemajuan besar dalam sistem *chatbot* terutama dengan hadirnya teknologi *Natural Language Processing* (NLP) yang membuat *chatbot* semakin cerdas dalam memahami dan

merespon bahasa manusia. Melalui penerapan deep learning, *chatbot* AI kini mampu menghasilkan respon teks yang menyerupai perilaku manusia. Pada tahun 2024, berbagai *chatbot* seperti *ChatGPT*, *Gemini*, dan *Claude* telah digunakan secara luas di berbagai bidang, termasuk dunia pendidikan. Kehadiran *chatbot* AI di lingkungan akademik memunculkan beragam pandangan sebagian menganggapnya dapat membantu proses pembelajaran dan diskusi, sementara yang lain menilai bahwa penggunaannya justru dapat membuat mahasiswa menjadi pasif dan kurang kritis.

Kecerdasan buatan AI telah menjadi bagian kehidupan sehari-hari dan terintegrasi dalam berbagai sistem termasuk IoT. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa disadari, manusia telah terbiasa berinteraksi dengan teknologi berbasis AI. Dalam beberapa tahun terakhir, AI menjadi tren global karena penggunaannya yang semakin luas misalnya melalui aplikasi seperti *chatGPT*, *Quillbot* dan *Perplexity* yang banyak dimanfaatkan pelajar untuk meningkatkan produktivitas. Selain itu, kemampuan AI dalam menghasilkan gambar dari deskripsi teks menunjukkan kemajuan pesat dalam bidang *generative AI*.

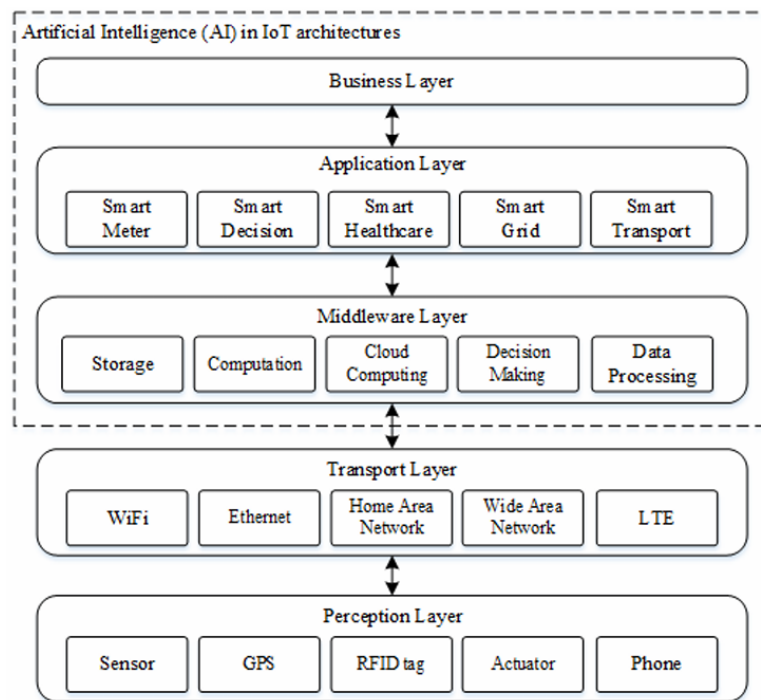
Di sektor kesehatan, teknologi AI telah membantu tenaga medis dalam diagnosis dan pengobatan seperti terapi gen untuk mengatasi penyakit kanker. Melalui rekayasa genetik, AI dapat digunakan untuk memperlambat pertumbuhan sel kanker atau meningkatkan kemampuan sistem imun dalam mengenali dan menghancurkan sel berbahaya. Dengan dukungan IoT, AI juga memungkinkan pemantauan pasien secara *real-time* menggunakan sensor, kamera, dan sistem pemantauan jarak jauh. Teknologi ini sangat berguna bagi pasien lansia, penderita penyakit kronis, maupun pasien pasca operasi karena memudahkan tenaga medis memantau kondisi mereka dari jarak jauh.

Dalam industri manufaktur, penerapan AI membawa dampak besar terhadap efisiensi dan efektivitas produksi. Teknologi ini membantu meningkatkan kualitas hasil produksi, mempercepat proses kerja, serta mengoptimalkan manajemen sumber daya. Tidak dapat dipungkiri, AI kini telah mengakar kuat dalam berbagai bidang di kehidupan. Dengan kemudahan akses berkat IoT, banyak individu maupun industri yang bergantung pada teknologi ini untuk menunjang aktivitas sehari-hari.

Meski memiliki banyak manfaat, implementasi AI juga menimbulkan sejumlah tantangan. Salah satu kekhawatiran utama adalah ancaman terhadap lapangan kerja

manusia. Semakin canggih teknologi membuat beberapa profesi berpotensi digantikan oleh sistem otomatis. Seperti robot di pabrik yang lebih efisien dibanding tenaga manusia atau teknologi AI yang dapat menciptakan karya seni dan deskripsi teks, sehingga mengancam pekerjaan seniman.

Selain itu, muncul isu terkait keamanan dan privasi data. Karena AI bekerja dengan mengumpulkan dan memproses data pengguna, ada risiko kebocoran informasi pribadi serta serangan siber yang semakin sulit dideteksi. Di bidang pendidikan, penggunaan AI seperti *ChatGPT* memang meningkatkan efisiensi pembelajaran, tetapi juga menimbulkan masalah *plagiarisme* dan menurunnya kemampuan berpikir kritis. Banyak pengguna yang cenderung menyalin hasil AI tanpa mencantumkan sumber, sehingga mengabaikan etika akademik dan orisinalitas karya [10].



Gambar 2.1 Kecerdasan buatan (AI) dalam arsitektur IoT utama

2.4 Arsitektur *Chatbot* AI

Chatbot merupakan perangkat lunak komputer yang dirancang untuk memfasilitasi interaksi atau percakapan secara alami antara sistem dan pengguna. *Chatbot* mampu meniru cara komunikasi manusia dengan menerima masukan berupa teks atau suara, kemudian memberikan respons yang sesuai. Menurut Shingte et al. (2021), *chatbot* berfungsi sebagai media komunikasi digital yang dapat digunakan untuk menyampaikan informasi, memberikan layanan, serta membantu pengguna dalam berbagai kebutuhan.

Dalam operasionalnya, *chatbot* memanfaatkan teknik pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk memahami masukan yang diberikan oleh pengguna. Sistem akan menganalisis teks pertanyaan, mengidentifikasi maksud atau tujuan dari pengguna, kemudian menghasilkan respons yang sesuai dengan konteks dan informasi yang dibutuhkan. Proses ini memungkinkan *chatbot* untuk memberikan jawaban yang lebih relevan dan tepat.

Salah satu tahapan penting dalam pengolahan bahasa alami pada *chatbot* adalah ekstraksi informasi. Tahap ini bertujuan untuk mengambil informasi-informasi penting dari teks masukan pengguna. Pengenalan entitas bernama (*Named Entity Recognition*) merupakan bagian dari proses ekstraksi informasi yang berfungsi untuk mengidentifikasi entitas spesifik, seperti nama orang, lokasi, waktu, maupun istilah tertentu, sehingga dapat meningkatkan akurasi pemahaman dan respons yang dihasilkan oleh *chatbot*.

Perkembangan *chatbot* saat ini dipengaruhi oleh kemajuan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), khususnya pada bidang pemrosesan bahasa alami NLP (*Natural Language Processing*). Dengan dukungan teknologi tersebut, *chatbot* tidak hanya mampu memberikan respons statis, tetapi juga dapat memahami konteks percakapan dan menghasilkan jawaban yang lebih relevan sesuai dengan kebutuhan pengguna[11].

Pengguna berperan sebagai titik awal interaksi dalam sistem *chatbot*, di mana seluruh komunikasi dilakukan melalui aplikasi telegram. Setiap pesan yang dikirimkan oleh pengguna akan diterima oleh telegram bot API, kemudian diteruskan

ke *server backend* untuk diproses lebih lanjut. Interaksi ini menjadi dasar dari keseluruhan alur kerja *chatbot*.

Telegram bot dikembangkan menggunakan framework *telegraf.js* yang berfungsi sebagai penghubung antara pengguna dan sistem *backend*. Framework ini mempermudah pengembangan bot telegram dengan menyediakan berbagai fitur penting, seperti pengelolaan perintah (*command handler*), *middleware*, serta mekanisme komunikasi melalui *webhook*. Backend sistem dibangun menggunakan *node.js* dan bertanggung jawab dalam mengatur alat komunikasi, menerima pesan dari pengguna, serta meneruskannya ke komponen pemrosesan bahasa alami.

Komponen inti dari arsitektur *chatbot* ini adalah *NLP engine* yang dibangun menggunakan *library node-nlp*. Engine ini bertugas untuk menganalisis pesan pengguna dengan melakukan proses tokenisasi, klasifikasi intent, serta pengenalan entitas. Hasil analisis tersebut digunakan untuk memahami tujuan pengguna dan mengekstrak informasi penting dari setiap *input* yang diberikan.

Selanjutnya, hasil pemrosesan dari *NLP engine* akan dicocokkan dengan rule base atau *knowledge base* yang tersimpan dalam format file JSON berbasis lokal. Basis pengetahuan ini berisi kumpulan pertanyaan dan jawaban yang sesuai ditemukan, sistem akan mengirimkan respons tersebut kembali kepada pengguna melalui *platform telegram*.

Dalam proses perancangan dan pengembangannya, *chatbot* ini memanfaatkan *JavaScript* dengan *node.js* sebagai bahasa pemrograman utama. *Telegraf.js* digunakan sebagai *framework telegram*, *node-nlp* sebagai *library pemrosesan bahasa alami*. Serta file JSON sebagai media penyimpanan *knowledge base*. Telegram bot API berperan sebagai *platform utama interaksi*, sementara *Visual Studio Code* digunakan sebagai lingkungan perkembangan untuk mendukung proses implementasi sistem secara keseluruhan[12].

2.5 Database

Menurut Andaru (2018), *database* merupakan sekumpulan informasi yang disimpan secara terstruktur di dalam komputer sehingga dapat dikelola dan diakses melalui program komputer. Istilah basis data berasal dari bidang ilmu komputer, dan pada awalnya merujuk pada *database elektronik*. Namun, konsep *database* kemudian

berkembang mencakup bentuk non-elektronik. Sebelum era revolusi industri, pencatatan data telah dilakukan dalam bentuk buku, kuitansi, serta arsip data bisnis.

Yanti et al. (2018) menjelaskan bahwa *database* adalah kumpulan catatan data yang disimpan dalam sistem komputer. Keterkaitan antar data di dalam *database* dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi bagi pengguna. Hingga saat ini, masih banyak data yang ditampilkan dalam bentuk teks, yang berpotensi menimbulkan kerentanan, khususnya dalam bidang kriptografi, seperti akses tidak sah, manipulasi data, maupun kebocoran dan distribusi data. Menurut Melisa et al. (2014), *database* didefinisikan sebagai kumpulan data beserta deskripsinya yang saling terhubung secara logis, digunakan secara bersama dan dirancang untuk memenuhi kebutuhan informasi pada suatu organisasi atau lingkungan tertentu.

Dalam sistem informasi, terdapat tiga komponen utama yang saling bekerja sama dalam pengelolaan data (Simanullang, 2021). Komponen tersebut meliputi proses *input* data, yaitu kegiatan memasukkan atau memindahkan data ke dalam sistem komputer agar dapat disimpan dan digunakan. Selanjutnya adalah proses pengolahan data ke dalam sistem komputer agar dapat disimpan dan digunakan. Selanjutnya adalah proses pengolahan data, di mana data yang telah dimasukkan diolah menjadi informasi. Tahap terakhir adalah proses *output*, yaitu menghasilkan informasi atau kumpulan data bernilai yang siap digunakan oleh pengguna[13].

Tujuan utama dari *database* adalah menyediakan akses data yang fleksibel, menjaga keakuratan dan konsistensi data, melindungi data dari kerusakan serta akses yang tidak berwenang, dan mendukung penggunaan data secara bersama-sama. Sistem ini juga berperan dalam mengintegrasikan data, mengurangi duplikasi data, menghilangkan ketergantungan pada aplikasi tertentu, menyeragamkan definisi elemen data, serta meningkatkan kinerja dan produktivitas tenaga kerja di bidang sistem informasi.

Hasil penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa *database* memiliki peranan yang sangat vital dalam sistem informasi manajemen. Peran tersebut muncul karena *database* mampu meningkatkan efisiensi kerja, menjamin keamanan data, mempermudah proses pengolahan data, serta memperkuat keterkaitan antar data yang digunakan dalam organisasi.

1. Keamanan data

Penggunaan *database* memberikan tingkat keamanan data yang lebih tinggi dibandingkan dengan penyimpanan data dalam file terpisah. Melalui *database*, pengelola dapat mengatur hak akses pengguna, melakukan pencadangan data secara berkala, serta menerapkan enkripsi untuk menjaga kerahasiaan informasi. Hal ini sangat penting bagi perusahaan dalam melindungi data karyawan dan pelanggan serta mencegah terjadinya kebocoran data yang dapat menimbulkan kerugian.

2. Efisiensi penyimpanan data

Database memungkinkan penyimpanan data yang lebih efisien dibandingkan metode penyimpanan konvensional. Efisiensi ini didukung oleh teknologi seperti indexing dan kompresi data. Indexing membantu mempercepat proses pencarian data, sedangkan kompresi data dapat mengurangi kebutuhan ruang penyimpanan sehingga lebih hemat biaya dan sumber daya.

3. Kemudahan pengolahan data

Dalam hal pengolahan data, *database* menawarkan kemudahan yang signifikan, terutama untuk pencarian dan pengambilan data. Dengan menggunakan bahasa *Structured Query Language* (SQL), pengguna dapat mengeksekusi perintah untuk mengakses data secara cepat dan tepat. Kemampuan ini sangat dibutuhkan oleh perusahaan yang mengelola data dalam jumlah besar dan memerlukan informasi yang akurat serta *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan.

4. Keterhubungan data

Database mampu mengintegrasikan data dari berbagai tabel yang saling berhubungan, sehingga memudahkan proses analisis data. Dengan adanya hubungan antar data, pengguna dapat memahami keterkaitan informasi secara lebih menyeluruh dan menghasilkan analisis yang akurat. Hal ini menjadi faktor penting bagi perusahaan dalam memperoleh wawasan bisnis yang mendalam. Sebagai kesimpulan, penerapan *database* dalam sistem informasi manajemen merupakan kebutuhan yang sangat penting. Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertimbangkan penggunaan *database* agar dapat

memperoleh manfaat optimal, seperti peningkatan efisiensi operasional, keamanan data, kemudahan pengolahan informasi, serta keterpaduan data yang mendukung pengambilan keputusan secara efektif[14].

2.6 Mikrokontroler ESP32

ESP32 berperan sebagai modul WiFi utama dalam pengembangan prototipe sistem rumah cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT). Modul ini berfungsi untuk menjembatani komunikasi antara perangkat keras di rumah dan aplikasi antarmuka seperti *Blynk* pada *smartphone*. Dengan integrasi ini, sistem mampu melakukan pengendalian perangkat elektronik dari jarak jauh (misalnya menghidupkan/mematikan lampu dan kipas angin) serta memantau berbagai informasi penting seperti arus listrik, daya, suhu lingkungan, dan estimasi biaya tagihan listrik bulanan terkini.

ESP32 adalah jenis mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif System* sebagai penyempurnaan dari seri sebelumnya, yaitu ESP8266. Keunggulan utamanya adalah popularitasnya dalam bidang otomasi industri berkat fitur-fitur canggih dan dukungan komunikasi yang kuat, terutama karena sudah dilengkapi dengan modul Wi-Fi dalam *chip* sehingga sangat cocok untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Dalam konteks industri, ESP32 dapat diintegrasikan dengan perangkat seperti PLC (*Programmable Logic Controller*) dan HMI (*Human Machine Interface*) menggunakan protokol komunikasi seperti *Modbus TCP/IP*, dimana dapat bertindak sebagai *client* untuk mengirimkan data sensor secara *real-time*.

Modul ESP32 dibekali dengan prosesor utama berupa mikrokontroler Tensilica Xtensa LX6 berarsitektur 32 bit. Prozessor ini beroperasi dengan satu atau dua inti (*core*) dan memiliki kecepatan clock hingga 240 MHz, sehingga menangani berbagai proses komputasi secara efisien.

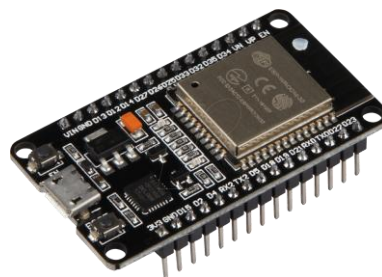
Dari sisi konektivitas nirkabel, ESP32 mendukung jaringan Wi-Fi standar IEEE 802.11 pada frekuensi 2,4 GHz dengan kecepatan transfer data hingga 150 Mbit/s. Selain itu, modul ini juga telah dilengkapi dengan fitur *bluetooth* versi 4.2 yang mendukung BR/EDR, sehingga memungkinkan komunikasi data jarak dekat dengan berbagai perangkat lain.

ESP32 memiliki kapasitas memori internal yang cukup besar untuk mendukung kinerjanya. Memori tersebut terdiri dari ROM sebesar 448 KiB, SRAM sebesar 520

KiB, serta RTC fast SRAM dan RTC slow SRAM masing-masing berkapasitas 8 KiB. Selain itu, terdapat *eFuse* sebesar 1 kubit yang digunakan untuk menyimpan konfigurasi permanen.

Dalam hal antarmuka *input* dan *output*, ESP32 menyediakan berbagai periferal yang lengkap dan mendukung teknologi DMA. Periferal tersebut meliputi ADC, DAC, I²C, UART, CAN 2.0, SPI, I²S, RMII, serta PWM. Modul ini juga memiliki hingga 30 pin GPIO yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan *input* maupun *output*. Sensor DHT11 merupakan salah satu sensor yang umum digunakan bersama ESP32. Sensor ini berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sehingga sering diaplikasikan pada sistem pemantauan lingkungan berbasis mikrokontroler [15].

Modul ESP32 digunakan sebagai pengendali digital dan komponen antarmuka utama dalam sistem pengukuran KWH meter berbasis IoT. Peran utamanya adalah memproses data pengukuran parameter kelistrikan, seperti arus, tegangan, yang diperoleh dari modul kWh meter digital PZEM-004T. Setelah memproses data, ESP32 menghubungkannya ke komputer atau *dashboard* melalui jaringan internet. Hal ini memungkinkan pengguna untuk memantau besaran energi listrik yang dikonsumsi secara *online* dan jarak jauh, sehingga menjadi solusi praktis untuk mengawasi penggunaan daya listrik secara *real-time* [16].



Gambar 2.2 Modul Mikrokontroler ESP32

2.7 Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Aplikasi merupakan istilah yang berasal dari bahasa Inggris yaitu *application* yang memiliki arti penerapan, penggunaan, atau lamaran. Secara umum, kata aplikasi digunakan untuk menggambarkan sesuatu yang diterapkan atau digunakan dalam suatu konteks tertentu. Dalam pengertian istilah aplikasi dapat didefinisikan sebuah program yang dibuat dan digunakan untuk menjalankan fungsi tertentu penggunaannya. Aplikasi juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung penggunaan jasa lain yang berkaitan dengan objek atau tujuan tertentu.

Pada umumnya, aplikasi berbentuk perangkat lunak yang berisi kumpulan perintah atau program. Perintah-perintah tersebut dirancang secara khusus untuk membantu menyelesaikan suatu pekerjaan atau aktivitas tertentu. Selain itu, aplikasi berperan penting dalam memenuhi berbagai kebutuhan aktivitas manusia. Salah satu contohnya adalah sistem perangkat lunak yang digunakan dalam kegiatan jual beli.

Arduino IDE merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *sketch* atau program pemrograman. Secara umum, Arduino IDE berfungsi sebagai media utama dalam proses pemrograman pada *board* Arduino yang akan digunakan. Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis, mengedit, serta mengunggah program ke *board* yang telah ditentukan. Melalui perangkat lunak ini, proses *coding* dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan sistem atau perangkat yang dirancang. Perangkat lunak Arduino IDE dilambangkan menggunakan bahasa pemrograman Java. Selain itu, Arduino IDE juga dilengkapi dengan pustakan C/C++ (*wiring*) yang berfungsi untuk mempermudah proses pengolahan *input* dan *output* pada perangkat Arduino [17].

Menurut Djuandi (2011), sebelum mempelajari Arduino, seseorang perlu memahami terlebih dahulu konsep *physical computing*. *Physical computing* merupakan pendekatan dalam merancang sistem atau perangkat fisik yang bersifat interaktif, yaitu mampu menerima *input* atau rangsangan dari lingkungan sekitar dan memberikan respons sebagai keluaran. Konsep ini bertujuan untuk menjembatani hubungan antara lingkungan nyata yang bersifat analog dengan sistem digital.

Dalam penerapannya, *physical computing* diwujudkan melalui perancangan berbagai alat dan proyek yang memanfaatkan sensor serta mikrokontroler. Sensor

berfungsi untuk menangkap sinyal analog dari lingkungan, kemudian mikrokontroler menerjemahkannya ke dalam bentuk digital yang dapat diproses oleh perangkat lunak. Hasil pemrosesan tersebut digunakan untuk mengendalikan komponen elektro-mekanik seperti lampu, motor, dan perangkat lainnya.

Arduino dikenal sebagai salah satu *platform pyssical computing* yang bersifat *open source*. Arduino bukan hanya sekedar alat pengembangan, melainkan sebuah sistem terpadu yang menggabungkan perangkat keras, bahasa pemrograman, serta *Integrated Development Environment* (IDE). IDE arduino berperan penting dalam proses penulisan program, kompilasi kode, hingga pengunggahan program ke memori. Popularitas arduino juga didukung oleh banyaknya proyek dan perangkat pendukung yang dapat digunakan bersama *platform* ini, seperti modul sensor, tampilan, dan aktuator yang dikembangkan oleh berbagai pihak. Selain itu, sifat *open source* pada perangkat keras dan lunaknya memungkinkan pengguna untuk mengakses dan memodifikasi desain rangkaian elektronik arduino secara bebas. Diagram rangkaian IDE arduino dapat diunduh serta digunakan secara gratis, sehingga pengguna dapat merakit sendiri papan arduino tanpa harus membayar lisensi kepada pengembangnya[18].

2.8 Sensor PZEM-004T

PZEM-004T merupakan modul sensor elektronik yang memiliki fungsi fundamental untuk mengukur berbagai parameter pada jaringan listrik bolak-bali (*AC*). Secara teknis, PZEM-004T mampu mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, dan faktor daya. Modul ini diproduksi oleh Peacefair dan tersedia dalam versi 10 *Ampere* hingga 100 *Ampere*. Model 100A dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3mm untuk mengakomodasi pengukuran arus maksimum 100A, menjadikannya ideal untuk berbagai proyek pengukuran daya, baik di tingkat rumah tangga maupun gedung. Modul ini dirancang untuk beroperasi pada tegangan 80 hingga 260 VAC dengan frekuensi 45 hingga 65 Hz.

Dalam salah satu penelitian, PZEM-004T digunakan sebagai komponen utama dalam sistem monitoring pemakaian arus listrik PLN berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikhususkan untuk rumah indekos. Fungsinya adalah sebagai sensor untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi setiap kamar secara *real-time*. Data yang

berhasil diukur oleh sensor ini kemudian diteruskan ke mikrokontroler NodeMCU ESP 8266, dan hasilnya ditampilkan pada *LCD* serta dapat dipantau melalui aplikasi Blynk di *smartphone*. Sistem ini bertujuan untuk memudahkan pemilik kos dan penyewa indekos dalam memantau penggunaan serta mengestimasi biaya listrik. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sensor PZEM-004T menunjukkan akurasi yang baik dengan nilai *error* yang relatif kecil, berada di bawah batas toleransi modul [19].

Penerapan lain dari PZEM-004T adalah sebagai sensor arus listrik pada prototipe *monitoring* konsumsi energi peralatan elektronik. Modul ini berfungsi untuk mendapatkan data tentang konsumsi energi listrik yang diserap oleh alat-alat yang terhubung ke stop kontak. Sistem kabelnya terbagi menjadi dua jalur utama: terminal masukan tegangan dan arus, serta kabel komunikasi serial yang menggunakan papan pin *TTL*. Untuk mengintegrasikannya dengan perangkat keras, modul ini memerlukan kabel konverter *TTL* ke *USB* atau *TTL* ke RS232. Data yang dibaca oleh sensor ini selanjutnya dikirimkan ke Wemos D1 R1 (sebuah *development board* yang kompatibel dengan *Arduino*) untuk disimpan ke basisdata [20].



Gambar 2.3 Sensor PZEM-004T

2.9 Buzzer

Buzzer merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi getaran yang menghasilkan suara. Komponen ini banyak digunakan sebagai penanda atau *alarm* dalam berbagai perangkat elektronik. Efek *piezoelectric* pertama kali ditemukan pada tahun 1880 oleh dua fisikawan asal Prancis, yaitu Pierre Curie dan Jacques Curie. Penemuan tersebut kemudian

dikembangkan lebih lanjut oleh perusahaan asal Jepang hingga tercipta *piezo electric buzzer*, yang mulai digunakan secara luas dan populer sejak dekade 1970-an.

Prinsip kerja *piezoelectric buzzer* sesuai dengan namanya, yaitu memanfaatkan efek *piezoelektrik* untuk menghasilkan bunyi. Ketika tegangan listrik diberikan pada material *piezoelektrik*, material tersebut akan mengalami perubahan bentuk atau gerakan mekanis. Gerakan ini kemudian diteruskan melalui diafragma dan resonator sehingga menghasilkan suara yang dapat didengar oleh telinga manusia[21].

Secara teknis, komponen ini bekerja dengan prinsip konversi energi, di mana arus listrik yang mengalir memicu pergerakan yang menghasilkan bunyi yang dapat didengar secara jelas. Salah satu jenis yang populer adalah *buzzer piezoelectric*, yang umumnya beroperasi pada rentang tegangan 3 hingga 12 Volt DC.

Dalam penggunaannya, *buzzer* dikategorikan menjadi dua jenis utama berdasarkan mekanisme suaranya. *Active Buzzer* bersifat mandiri (*stand alone*) ia akan langsung mengeluarkan bunyi secara otomatis begitu terhubung dengan sumber listrik. Sebaliknya, *passive buzzer* tidak memiliki suara bawaan dan mengeluarkan pengaturan frekuensi eksternal. Hal ini membuat jenis pasif sangat ideal jika dipadukan dengan mikrokontroler seperti Arduino, karena pengguna dapat mengatur tinggi rendahnya nada sesuai keinginan.

Secara visual, *buzzer* biasanya berbentuk tabung berwarna hitam dan berfungsi indikator audio, baik untuk alarm, pengingat (*timer*), maupun sinyal peringatan berupa bunyi “beep”. Perangkat ini memiliki tiga komponen penyusun utama, termasuk elemen *piezoelektrik* di dalamnya. Untuk pemasangannya, terdapat dua kaki pin dengan panjang yang berbeda, kaki pendek sebagai kutub negatif (GND) dan kaki panjang sebagai kutub positif yang disambungkan ke tegangan VCC atau 5V.

2.10 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 I2C

LCD (Liquid Crystal Display) adalah sebuah teknologi tampilan yang memanfaatkan kristal cair sebagai elemen penampil utama. Meskipun disebut “titik cahaya” atau piksel, kristal cair ini sejatinya tidak memancarkan cahaya sendiri melainkan mengontrol lewatnya cahaya. Misalnya, LCD 16x2 mampu menampilkan total 32 karakter, tersusun dalam dua baris dengan kapasitas 16 karakter perbaris.

Secara umum, LCD 16x2 memiliki 16 pin kontrol. Untuk menghindari penggunaan pin mikrokontroler terlalu banyak (boros), biasanya digunakan modul driver I2C (*Integrated Circuit*). Dengan modul ini, jumlah pin yang diperlukan untuk menghubungkan LCD ke mikrokontroler seperti ESP32 dapat dikurangi drastis menjadi hanya 4 pin: dua untuk data I2C (SDA dan SCL) dan dua untuk suplai tegangan (GND dan VCC). Dalam konfigurasi spesifik ini, SDA (data I2C) terhubung ke pin 21 dan SCL (jam I2C) terhubung ke pin 22 ESP32, sementara VCC terhubung ke 5V dan GND ke *ground*.

Berikut adalah fungsi dari ke 16 pin pada LCD 16x2:

1. VSS: Pin ini berfungsi sebagai jalur *ground*.
2. VCC: Pin ini dihubungkan ke sumber tegangan 5 Volt karena LCD beroperasi pada tegangan tersebut.
3. VEE: Digunakan untuk mengatur tingkat gelap terangnya layar LCD, umumnya melalui koneksi ke potensiometer atau *trimpot*. Jika dihubungkan langsung ke *ground*, layar akan menampilkan tingkat kecerahan maksimal.
4. *Register Select* (RS): Pin kontrol ini menentukan mode operasi LCD. Logika 0 menandakan LCD disiapkan untuk menerima perintah, sedangkan logika 1 berarti LCD disiapkan untuk menerima data yang akan ditampilkan.
5. *Read/Write* (RW): Pin ini mengontrol arah transfer data. Logika 1 memungkinkan mikrokontroler untuk membaca data dari memori LCD, sementara logika 0 memungkinkan mikrokontroler menuliskan data ke LCD. Pin ini seringkali langsung dihubungkan ke *ground* (logika 0) jika LCD hanya difungsikan sebagai penampil (*display*) saja.
6. *Enable*: berfungsi sebagai *toggle* untuk mengirimkan data dan perintah dari mikrokontroler ke LCD.
7. Pin D0-D7: Pin data yang digunakan untuk mengirimkan data karakter ke LCD. Terdapat dua mode koneksi: Mode 8 bit yang menggunakan seluruh pin D0 hingga D7, dan Mode 4 bit yang hanya menggunakan D4, D5, D6, dan D7.
8. LED+ dan LED-: Kedua pin ini mengontrol *backlight* (lampu latar) LCD. Untuk menyalakan *backlight*, LED+ dihubungkan ke tegangan 5 Volt dan LED- dihubungkan ke *ground*[22].



Gambar 2.4 LCD 16x2 I2C

2.10.1 Modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*)

Modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*) adalah standar komunikasi serial dua arah yang dirancang untuk pengiriman dan penerimaan data menggunakan hanya dua saluran. Sistem I2C terdiri dari *SCL* (*Serial Clock*), yang bertugas membangkitkan sinyal *clock* untuk sinkronisasi, dan *SDA* (*Serial Data*), yang berfungsi membawa informasi data. Dalam sistem ini, perangkat dapat beroperasi sebagai master atau slave. Perangkat master adalah yang memulai transfer data, menghasilkan sinyal *start* dan *stop*, serta membangkitkan sinyal *clock*. Sebaliknya, perangkat *slave* adalah perangkat yang hanya menanggapi alamat dari master.

Penggunaan modul I2C pada LCD 16x2 sangat efisien karena mampu mereduksi jumlah pin kontrol yang dibutuhkan secara signifikan. Alih-alih menggunakan banyak pin, dengan modul I2C, LCD 16x2 hanya memerlukan total 4 pin untuk terhubung ke mikrokontroler seperti ESP32: 2 pin untuk suplai tegangan dan 2 pin untuk komunikasi I2C[22].

Berikut adalah rincian koneksi 4 pin tersebut ke ESP32:

1. GND: Dihubungkan ke jalur *ground* (negatif) sistem.
2. VCC: Dihubungkan ke sumber tegangan 5V (positif) untuk daya modul.
3. SDA (I2C Data): Berfungsi sebagai jalur data serial I2C dan dihubungkan ke pin 21 pada ESP32.
4. SCL (I2C Clock): Berfungsi sebagai jalur *clock serial* I2C dan dihubungkan ke pin 22 pada ESP32.



Gambar 2.5 Modul I2C

2.11 Sistem *Monitoring* Konsumsi Energi Listrik

Sistem *monitoring* dalam konteks pemakaian energi listrik rumah tangga, khususnya yang berbasis *Internet of Things* (IoT), adalah alat yang sangat dibutuhkan untuk menyediakan informasi yang akurat mengenai besaran daya, energi listrik yang digunakan dan perkiraan biaya yang harus dibayar. Tujuan utama dari implementasi sistem ini adalah untuk mempermudah konsumen dan mengendalikan pemakaian daya dan energi pada peralatan rumah tangga.

Dengan adanya sistem ini, manajemen penggunaan listrik dapat dilakukan dengan lebih baik dan efisien, sekaligus memungkinkan pengguna untuk mengestimasi biaya pemakaian listrik secara akurat. Alat prototipe untuk sistem ini umumnya menggunakan komponen seperti sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi pada beban listrik, serta mikrokontroler seperti NodeMCU untuk mengirimkan data ke *platform cloud* (seperti *Ubidots*) untuk ditampilkan kepada pengguna.

2.11.1 Sistem *Monitoring Real-Time* dan Visualisasi Data

Dari perspektif perancangan aplikasi, sistem monitoring konsumsi energi listrik dirancang sebagai prototipe yang mampu menampilkan data pemakaian secara waktu nyata (*real-time*) dan menyimpan data pengukuran tersebut ke dalam basis data. Dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan integrasi dengan sensor (misalnya PZEM-004T), data konsumsi energi listrik yang diserap oleh peralatan dapat diukur dan dikirimkan ke aplikasi perangkat lunak.

Data yang terkumpul kemudian diolah dan disajikan melalui halaman *website* untuk menampilkan grafik penggunaan energi dan perkiraan biaya yang harus

dikeluarkan, sehingga memberikan gambaran historis pengukuran konsumsi listrik peralatan yang digunakan. Hal ini mengatasi keterbatasan metode pemantauan konvensional (seperti meter kWh (*Kilowatt-Hour Analog*) yang tidak dapat menampilkan penggunaan listrik secara *real-time*.

2.11.2 Sistem *Monitoring* Jaringan dan Deteksi Dini

Dalam lingkup infrastruktur teknologi informasi, sistem monitoring jaringan merupakan sistem yang sangat penting yang membantu administrator jaringan dalam mengelola dan mengawasi jaringan komputer dan *server* di suatu instansi. Pada dasarnya, sistem *monitoring* didefinisikan sebagai proses berkelanjutan untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber daya, yang umumnya dilakukan secara *real-time*.

Fungsinya mencakup pemantauan, pengawasan, dan pengendalian status perangkat jaringan dan sistem. Dengan sistem *monitoring* jaringan, kesalahan atau gangguan pada *server* dan layanan yang berjalan dapat diketahui secara cepat, bahkan dapat dimonitor dari jarak jauh (*remote*) selama terhubung dengan internet, serta memberikan notifikasi kepada administrator (misalnya via Telegram) untuk penanganan masalah yang lebih cepat [23].

2.12 Energi Listrik dan Parameter Kelistrikan

Energi listrik didefinisikan sebagai jumlah daya listrik yang digunakan selama periode waktu tertentu. Secara sistematis, besaran energi listrik yang terpakai pada suatu peralatan berbanding lurus dengan hasil perkalian antara tegangan listrik (V), arus listrik (I), dan durasi waktu penggunaan (t). Energi ini telah menjadi komponen krusial dalam kehidupan masyarakat modern, termasuk di lingkungan institusi. Bahkan, energi listrik saat ini mendominasi kebutuhan energi dibandingkan jenis energi lainnya seperti LPG, khusus di sektor rumah tangga, porsi penggunaan energi listrik sangat besar mencapai 55,1% pada tahun 2015 dan diproyeksikan akan terus meningkat signifikan hingga tahun 2050 [24][25].

Untuk menilai seberapa efisien penggunaan energi listrik pada suatu bangunan, diterapkan teknik yang dapat disebut Audit Energi. Audit ini merupakan prosedur sistematis yang bertujuan untuk menghitung besaran konsumsi energi,

mengidentifikasi pada pemanfaatan, dan menentukan langkah-langkah penghematan guna konservasi energi.

Indikator utama yang dihasilkan dari audit ini adalah Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yang didefinisikan sebagai rasio antara total pemakaian energi listrik (dalam kWh) terhadap satuan luas bangunan (dalam m^2) selama periode waktu tertentu. Proses audit dilakukan secara bertahap, dimulai dengan audit energi awal untuk mendapatkan nilai IKE. Jika hasil perhitungan IKE melampaui batas target efisiensi yang diterapkan, hal tersebut mengindikasikan perlunya tindakan penghematan energi dan dilanjutkan dengan audit energi rinci [24] [25].

Konservasi energi didefinisikan sebagai usaha yang sistematis, terencana, dan menyeluruh untuk melindungi sumber daya energi nasional, serta mendorong efisiensi pemanfaatannya. Upaya konservasi ini dianggap sebagai kebijakan yang paling mudah dan hemat biaya untuk diterapkan oleh masyarakat luas, dan didukung oleh regulasi pemerintah seperti undang-undang dan peraturan menteri terkait penghematan tenaga listrik.

Meskipun demikian, pemborosan energi masih sering terjadi. Di sektor bangunan, hal ini dapat disebabkan oleh peralatan yang boros energi, kurangnya perawatan berkala, atau tidak disiplinnya pengguna dalam mengoperasikan peralatan listrik. Di rumah tangga, pemborosan seringkali diakibatkan oleh perilaku tidak efisien dan penggunaan perangkat yang tidak berlabel hemat energi. Salah satu bentuk kerugian yang dapat diatasi adalah daya siaga (*standby power*), yaitu konsumsi energi oleh peralatan yang terus terhubung ke stop kontak meskipun sedang tidak digunakan. Kerugian ini dapat dikurangi secara signifikan dengan mencabut steker peralatan setelah selesai dipakai [24][25].

$$W = P \times t \quad (2.1)$$

Dimana:

W = Energi listrik dalam satuan *joule* (J)

P = Daya (VA)

t = Waktu dalam satuan detik (s)

2.12.1 Arus

Arus listrik merupakan jumlah muatan yang mengalir melalui suatu penghantar setiap 1 detik, dengan satuan *coulomb* per detik (C/s) atau *Ampere* (A). Besarnya arus listrik dapat dinyatakan melalui persamaan berikut: [26]

$$I = \frac{Q}{T} \quad (2.2)$$

Dimana:

I = Arus listrik dalam satuan *ampere* (A)

Q = Muatan listrik dalam satuan *coulomb* (C)

t = Waktu dalam satuan detik (s)

2.12.2 Tegangan

Tegangan listrik merupakan perbedaan energi potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik yang diukur dalam satuan *volt* (V). Tegangan juga dapat diartikan sebagai energi sebesar satu joule untuk setiap 1 *coulomb* muatan listrik yang berpindah. Sebagai contoh, apabila sebuah baterai memiliki tegangan 12,6 *volt* artinya setiap muatan sebesar 1 *coulomb* membawa energi sebesar 12,6 *joule*. Ketika baterai tersebut dihubungkan dengan sebuah lampu, energi 12,6 *joule* yang dibawa oleh setiap *coulomb* muatan akan diubah menjadi energi panas dan cahaya. Berdasarkan hal tersebut, tegangan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: [26]

$$V = \frac{E}{Q} \quad (2.3)$$

Dimana:

V = Tegangan dalam satuan *volt* (V)

E = Energi dalam satuan *joule* (J)

Q = Muatan dalam satuan *coulomb* (C)

2.12.3 Daya

Daya dalam sistem tenaga listrik merupakan besaran energi listrik yang digunakan untuk melakukan suatu usaha. Besarnya daya ditentukan oleh hasil perkalian antara

tegangan dan arus yang mengalir pada sistem tersebut, sesuai dengan persamaan yang berlaku. Daya ini diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir, sesuai dengan persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

Dimana:

P = Daya (VA)

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (*Ampere*)

Pada sistem penggunaan arus bolak-balik (*AC*) 3 fasa, terdapat 4 jenis daya yaitu daya reaktif (*reactive power*), daya semu/tampak (*apparent power*), daya aktif (*active power*), dan daya kompleks.

1. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya Reaktif merupakan suatu daya rugi-rugi dengan kata lain merupakan suatu yang tidak diinginkan dan semaksimal mungkin dapat dihindari. Daya ini bersumber dari komponen reaktif dan memiliki satuan VAR. Dalam perhitungan fasa, daya reaktif ini merupakan perkalian antara tegangan efektif dengan arus efektif serta nilai sin. Secara sistematis menggunakan persamaan berikut:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \text{ (Untuk 1 Fasa)} \quad (2.5)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \text{ (Untuk 3 Fasa)} \quad (2.6)$$

Dimana:

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Sudut fasa

$\sqrt{3}$ = 3 Fasa

2. Daya Semu/Tampak (*Apparent Power*)

Daya semu merupakan daya yang sesungguhnya dihasilkan oleh generator, yang merupakan gabungan antara daya aktif dan daya reaktif. Daya ini dikenal juga dengan satuan volt-ampere (VA) dan sering disebut sebagai daya tampak (*apparent power*). Secara sistematis, daya semu dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$S = V \times I \quad (2.7)$$

$$S = \sqrt{P^2} + \sqrt{Q^2} \quad (2.8)$$

Dimana:

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (*Watt*)

Q = Daya Reaktif (VAR)

3. Daya Aktif (*Active Power*)

Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi sebenarnya dengan kata lain daya ini merupakan daya yang terpakai atau terserap. Daya aktif ini merupakan daya yang tercatat pada *kWh* meter yang terdapat di rumah-rumah dan daya tersebut merupakan daya yang harus dibayar oleh pelanggan. Daya aktif ini sendiri memiliki satuannya itu *Watt* (W). Berikut adalah persamaan sistematis pada daya aktif (*active power*):

$$P = V \times I \times \sin \varphi \text{ (Untuk 1 Fasa)} \quad (2.9)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \text{ (Untuk 3 Fasa)} \quad (2.10)$$

Dimana:

P = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Sudut fasa

$\sqrt{3}$ = 3 Fasa

4. Faktor Daya $\cos \varphi$ (*Power Factor*)

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu yang menjadi indikator penting untuk menilai seberapa efisien suatu beban dalam melaksanakan fungsinya terkait dengan penggunaan atau disipasi daya, yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2.11)$$

Maka faktor daya PF adalah perbandingan antara daya nyata P (Watt) dengan daya tampak S (VA). Dalam diagram daya, PF adalah cosinus sudut antara daya reaktif dan daya tampak.

Faktor daya dapat ditulis menjadi:

$$PF = \frac{P}{VI} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Volt Ampere}} \quad (2.12)$$

$$= \frac{P}{S} = \frac{S \cos \varphi}{S} \quad (2.13)$$

Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$PF = \cos \varphi$$

Sudut φ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif P dan daya tampak S, sedangkan daya reaktif Q tegak lurus terhadap daya aktif P [27].

2.13 Standar Tegangan 1 Fasa Berdasarkan SPLN

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan instalasi yang berfungsi menyalurkan energi listrik kepada pelanggan. Sistem ini mencakup komponen, seperti kabel sambungan Rumah (SR) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Namun, dalam praktiknya sering terjadi ketidaksempurnaan pada sambungan antara kabel SR dan JTR yang dapat mempengaruhi kualitas penyaluran daya listrik (Setiadji, 2006).

Selain masalah sambungan, jarak antara gardu distribusi dengan rumah pelanggan yang di suplai juga berpengaruh terhadap kinerja sistem tenaga listrik. Semakin jauh jarak gardu dari pelanggan, maka semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan tegangan pada jaringan. Kondisi ini diperparah apabila beban listrik pada jaringan tersebut relatif tinggi.

Faktor lain yang mempengaruhi kualitas penyaluran listrik adalah luas penampang penghantar yang digunakan. Penggunaan penghantar dengan penampang yang terlalu kecil dapat meningkatkan rugi-rugi daya dan menyebabkan penurunan tegangan pada sisi pelanggan. Berdasarkan standar SPLN No.1 Tahun 1978, tegangan pelayanan listrik memiliki batas toleransi tertentu. Tegangan maksimum yang diizinkan adalah sebesar +5% atau mencapai 230 volt, sedangkan tegangan minimum yang diperbolehkan adalah -10% atau sebesar 198 volt dari tegangan nominal jaringan tegangan rendah yaitu 220 volt [28][29].

2. 14 *Overvoltage* dan *Undervoltage*

Overvoltage merupakan kondisi ketika nilai tegangan listrik melebihi batas nominal yang telah ditetapkan, yaitu di atas 220V pada sistem tegangan rendah. Kondisi ini dapat terjadi akibat gangguan pada sistem distribusi listrik, kesalahan pengaturan tegangan, atau perubahan beban yang tidak stabil. Tegangan yang terlalu tinggi berpotensi merusak peralatan listrik, mempercepat degradasi komponen, serta menurunkan tingkat keamanan dan keandalan sistem.

Sebaliknya, *undervoltage* adalah keadaan di mana tegangan listrik berada di bawah nilai nominal yang seharusnya diterima oleh konsumen. *Undervoltage* umumnya disebabkan oleh kelebihan beban, jarak distribusi yang terlalu jauh, atau penurunan kualitas jaringan listrik. Kondisi ini dapat mengakibatkan peralatan listrik tidak beroperasi secara optimal, menurunkan efisiensi kerja, dan dalam jangka panjang menyebabkan kerusakan pada motor listrik dan perangkat elektronik.

Baik *overvoltage* maupun *undervoltage* merupakan gangguan kualitas daya listrik yang perlu dikendalikan dengan sistem pengamanan yang tepat. Tanpa adanya sistem kendali tegangan, fluktuasi tegangan dapat berdampak buruk terhadap kinerja dan umur pakai peralatan listrik. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kendali tegangan yang mampu mendeteksi kondisi tegangan secara otomatis dan mengambil tindakan pengamanan, seperti memutus aliran listrik ketika terjadi penyimpangan tegangan dari batas aman.

Pengendalian *overvoltage* dan *undervoltage* sangat penting khususnya pada konsumen tegangan rendah 220V, karena sebagian besar peralatan rumah tangga dan pembelajaran laboratorium dirancang untuk bekerja pada rentang tegangan tertentu.

Dengan adanya sistem kendali tegangan, kestabilan pasokan listrik dapat terjaga sehingga risiko kerusakan dan gangguan operasional dapat diminimalkan[30].

Gangguan tegangan lebih (*overvoltage*) merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada sistem jaringan tegangan rendah. Menurut Firmansyah (2016), gangguan ini dapat muncul akibat ketidakstabilan sistem distribusi listrik. Sementara itu, gangguan tegangan kurang (*undervoltage*) lebih umum ditemukan pada jaringan tegangan menengah. Kedua jenis gangguan tersebut dapat memberikan dampak negatif apabila terhubung langsung dengan peralatan listrik.

Kondisi *overvoltage* dan *undervoltage* dapat mempengaruhi kinerja peralatan listrik serta mempercepat penurunan umur pakai peralatan tersebut. Tegangan yang tidak sesuai dengan nilai nominal menyebabkan peralatan bekerja di luar spesifikasi desainnya, sehingga meningkatkan risiko kerusakan dan menurunkan tingkah efisiensi operasional.

Pada saat terjadi gangguan *overvoltage*, yaitu ketika nilai tegangan di bawah tegangan nominal yang ditetapkan, sistem sensor tegangan PZEM-004T berperan dalam mendeteksi adanya penyimpangan tersebut. Data hasil pendeteksian kemudian digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh sistem kendali untuk memberikan perlindungan terhadap peralatan listrik yang terhubung.

Dengan adanya sistem pendeteksi tegangan seperti PZEM-004T, gangguan *overvoltage* maupun *undervoltage* dapat diidentifikasi secara cepat dan akurat. Hal ini memungkinkan sistem pengaman bekerja secara otomatis untuk meminimalkan dampak gangguan tegangan terhadap peralatan listrik serta menjaga keandalan sistem kelistrikan[31].