

SISTEM PROTEKSI KABEL MOTOR 3 FASA MENGGUNAKAN MONITORING DAYA DAN SUHU BERBASIS IOT

Armansyah, Raja Harahap, Hermansyah Alam, Darwin Saputra

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatra Utara, Medan
armansyah@ft.uisu.ac.id; harahaprij@yahoo.com; hermansyah.alam@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan pembuatan sistem proteksi kabel motor tiga fasa menggunakan monitoring daya dan suhu berbasis Internet of Things (IoT). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi secara dini gangguan pada kabel motor, seperti kenaikan suhu dan ketidakseimbangan arus, yang dapat menyebabkan kerusakan motor dan penurunan efisiensi sistem. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, modul sensor daya PZEM-004T untuk mengukur parameter listrik (tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi), serta sensor suhu DS18B20 untuk memantau suhu kabel tiap fasa. Data hasil pengukuran dikirim secara real-time ke platform IoT ThingSpeak melalui koneksi WiFi, sehingga pengguna dapat memantau kondisi motor dari jarak jauh. Selain itu, sistem dilengkapi dengan LCD sebagai tampilan lokal dan buzzer sebagai alarm suhu berlebih. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data tegangan, arus, daya, dan suhu secara akurat. Tegangan antar fasa memiliki ketidakseimbangan sebesar 2–3%, arus hingga 10%, dan faktor daya berkisar antara 0,83–0,88. Suhu kabel maksimum tercatat 36°C, masih dalam batas aman operasi. Sistem ini terbukti efektif dalam memberikan informasi real-time terhadap kondisi kabel motor tiga fasa dan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan keandalan serta efisiensi pemeliharaan sistem kelistrikan industri.

Kata Kunci: Motor, Tiga Fasa, Proteksi, Kabel, Daya, Suhu, Internet of Things (IoT)..

I. PENDAHULUAN

Pada sistem kelistrikan industri, motor 3 fasa merupakan salah satu komponen utama yang banyak digunakan untuk menggerakkan berbagai mesin dan peralatan. Motor 3 fasa dikenal dengan efisiensinya yang tinggi dan kemampuannya untuk menangani beban berat. Namun, seperti halnya komponen listrik lainnya, motor 3 fasa juga rentan terhadap berbagai masalah teknis, seperti gangguan arus lebih (overcurrent), kelebihan suhu (overheating), serta kerusakan pada kabel yang dapat menyebabkan kerugian materi yang besar dan downtime yang merugikan.

Salah satu penyebab kerusakan yang sering terjadi pada motor 3 fasa adalah adanya masalah pada kabel yang menghubungkan motor dengan sumber daya. Kabel yang mengalami gangguan seperti pemanasan berlebih, kelebihan beban, atau bahkan kerusakan fisik dapat menyebabkan motor berhenti bekerja atau bahkan rusak permanen. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem proteksi yang dapat mendeteksi secara dini adanya gangguan pada kabel motor, sehingga dapat dilakukan tindakan preventif untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi yang efisien untuk memonitoring kondisi motor secara real-time. IoT memungkinkan pemantauan parameter-parameter penting seperti daya, arus, tegangan, dan suhu motor melalui perangkat yang terhubung ke internet. Dengan sistem ini, data yang diperoleh dari sensor dapat diproses dan dianalisis secara otomatis untuk memberikan informasi kepada operator atau sistem kontrol tentang kondisi motor

yang sedang berjalan. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam melakukan tindakan perbaikan atau pemeliharaan.

Sistem proteksi berbasis IoT yang menggabungkan pemantauan daya dan suhu ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja motor 3 fasa dengan lebih efektif dan mengurangi risiko kerusakan. Dengan adanya sistem yang dapat mengirimkan peringatan atau notifikasi secara real-time kepada operator atau pemeliharaan, kerusakan akibat gangguan kabel dapat dicegah lebih awal, sehingga waktu henti operasional dapat diminimalisir dan biaya perbaikan dapat dikurangi.

Melalui penelitian ini, penulis bertujuan untuk merancang dan membangun sistem proteksi kabel motor 3 fasa menggunakan monitoring daya dan suhu berbasis IoT. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam meningkatkan keandalan operasional motor 3 fasa dan mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh masalah pada kabel motor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Monitoring

Pengertian Sistem Monitoring Sistem adalah suatu kesatuan yang terdiri dari beberapa komponen atau subsistem untuk mencapai tujuan yang sama. Sedangkan monitoring adalah proses mengumpulkan dan menganalisa informasi berdasarkan indikator yang telah ditetapkan secara sistematis. Jadi, sistem monitoring dapat didefinisikan sebagai kasatuan yang terdiri dari beberapa komponen atau subsistem untuk melakukan proses mengumpulkan dan

menganalisa informasi berdasarkan indikator yang telah ditetapkan secara sistematis.

2.2 Tujuan Monitoring

Tujuan dari sistem monitoring adalah untuk memantau dan mengawasi aktivitas, kinerja, atau perubahan dalam suatu sistem serta mengumpulkan data secara real-time, menganalisis informasi yang diperoleh, dan memberikan laporan atau peringatan jika terjadi perubahan terhadap kondisi yang ditentukan. Monitoring juga dilakukan dalam rangka mengetahui permasalahan yang terjadi selama kegiatan yang telah dijalankan.

2.3 Daya Listrik 3 Fasa

Daya listrik 3 fasa merupakan sistem instalasi listrik yang menggunakan tiga konduktor fasa yang terpisah secara fisik. Setiap konduktor fasa mengalir arus listrik yang berbeda-beda secara fasa, namun memiliki amplitudo yang sama. Daya listrik 3 fasa memiliki 3 kawat penghantar yang bertegangan listrik, yaitu kawat R,S,T dan 1 kabel netral (N). Mempunyai tegangan yang sama pada setiap fasa-nya, akan tetapi berbeda pada sudut curve-nya sebesar 120°. Umumnya daya listrik 3 fasa bertegangan 380 Volt yang sering digunakan di Industri, pabrik, maupun gedung-gedung konvensional lainnya yang membutuhkan energi listrik yang lebih besar

2.4 Internet of Things (IoT)

Internet of Things atau biasa disebut dengan IoT adalah suatu teknologi yang walaupun tidak ada bantuan dari komputer ataupun manusia namun dapat memindahkan suatu data melalui jaringan internet. Oleh karena itu IoT termasuk dalam sistem cerdas .

2.4.1 Prinsip Kerja IoT

Prinsip kerja dasar IoT melibatkan empat komponen utama, dimana perangkat IoT (Internet of Things Devices) mengirimkan atau menerima data kemudian data tersebut dapat diteruskan melalui jaringan internet ke server atau platform IoT. Data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dikirim ke cloud atau platform IoT untuk dapat dilakukan pengolahan data yang memungkinkan data tersebut disimpan, dianalisis, dan pengelolaan data dari berbagai perangkat IoT. Cloud atau platform IoT juga menyediakan antarmuka untuk mengakses dan mengelola perangkat IoT serta menjalankan aplikasi cerdas. Kemudian sampailah ketahapan dimana data yang diterima dari perangkat IoT dianalisis untuk menghasilkan informasi yang diinginkan.

2.4.2 Komponen Utama IoT

Pada umumnya Internet of things memiliki beberapa komponen utama diantaranya:

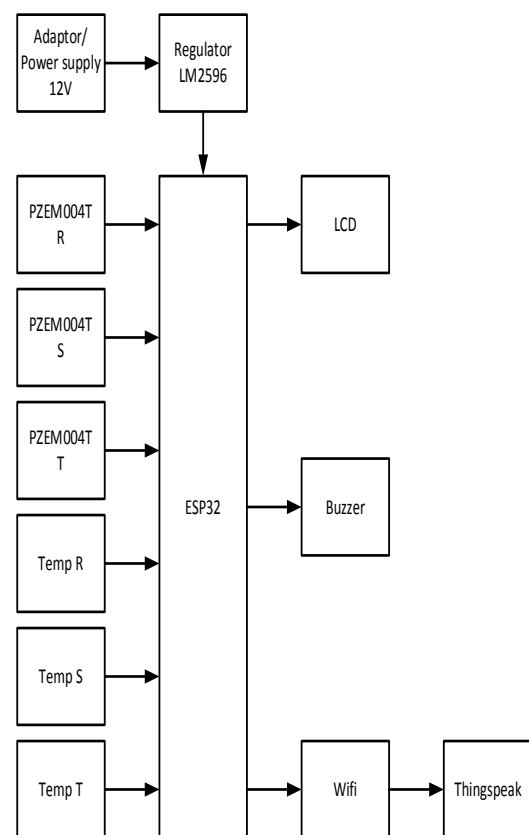
- Sensor
- Konektivitas
- Data Olahan

d. User Interface (UI)

Oleh karena itu, penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dapat menjadi solusi untuk mempermudah pemantauan kualitas air secara real-time. IoT adalah ketika kita menyambungkan sesuatu (things) yang tidak dioperasikan oleh manusia, ke internet. IoT merupakan jaringan dari benda-benda fisik yang tertanam dengan elektronik, perangkat lunak, sensor, dan konektivitas jaringan, yang memungkinkan benda-benda mengumpulkan data dan pertukaran data .Salah satu cara untuk memantau kualitas air adalah dengan menggunakan sistem basis data pemantauan parameter air berbasis IoT dengan platform Thingspeak. ThingSpeak adalah platform open-source untuk Internet of Things (IoT) yang dapat digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan memvisualisasikan data dari sensor-sensor yang terhubung dengan jaringan. ThingSpeak dapat terintegrasi dengan berbagai jenis sensor dan perangkat untuk memantau dan mengontrol sistem secara otomatis. Penelitian mengenai pemantauan dengan sistem IoT menggunakan platform Thingspeak telah ada dilakukan dengan objek dan parameter tertentu.

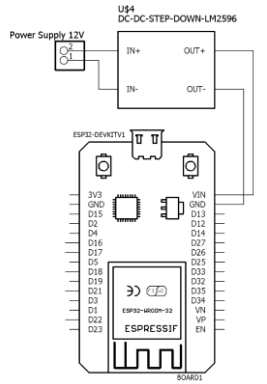
II. METODOLOGI

3.1. Diagram Blok



Gambar 1. Diagram Blok Rangkaian

3.2 Rangkaian Adaptor/ Power Supply Dan ESP32



Gambar 2. Rangkaian Adaptor/ Power Supply Dan ESP32

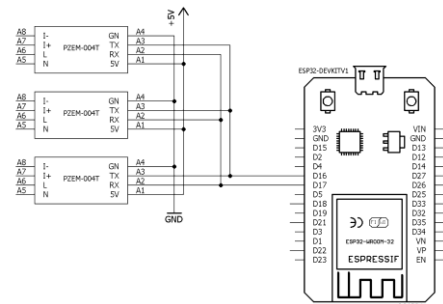
Gambar 2 Rangkaian ini dirancang untuk memantau penggunaan daya listrik dan suhu kabel secara menyeluruh, dilengkapi dengan sistem peringatan dini. Catu daya eksternal 12V DC pertama-tama diregulasi oleh modul step down lm2596 menjadi tegangan 5V yang stabil untuk mengamankan dan mengoptimalkan operasi seluruh komponen elektronik dinyalakan. Mikrokontroler ESP32-DEVKITV1 adalah pusat kendali sistem. ESP32 mengakuisisi data parameter listrik (tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya) dari modul PZEM004T dan data suhu kabel dari sensor DS18B20. Data ini kemudian ditampilkan secara lokal pada LCD dan dikirimkan ke platform *cloud* ThingSpeak melalui WiFi untuk pemantauan jarak jauh. Untuk keamanan, jika suhu kabel melebihi ambang batas (misalnya 60°C), ESP32 akan mengaktifkan buzzer sebagai alarm, memberikan peringatan dini terhadap potensi beban berlebih atau masalah pada kabel.

3.3 Rangkaian Sensor PZEM004T

Rangkaian ini menunjukkan koneksi tiga buah modul sensor daya PZEM004T ke modul ESP32-DEVKITV1. Setiap modul PZEM004T digunakan untuk memantau satu fasa dari sistem kelistrikan.

- **Koneksi Daya:**
 - Pin 5V pada ketiga modul PZEM004T terhubung ke sumber daya +5V. Ini menyediakan daya yang dibutuhkan oleh modul sensor untuk beroperasi.
 - Pin GN (Ground) pada ketiga modul PZEM004T terhubung ke jalur GND bersama, yang juga terhubung ke GND pada ESP32.
- **Koneksi Komunikasi Serial (UART):**
 - Setiap modul PZEM004T berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan antarmuka serial (UART).
 - Pin TX (Transmit) dari setiap modul PZEM004T terhubung ke pin RX (Receive) yang berbeda pada ESP32.

- PZEM-004T pertama (paling atas) pin TX terhubung ke pin D16 pada ESP32.
- PZEM-004T kedua (tengah) pin TX terhubung ke pin D17 pada ESP32.
- PZEM-004T ketiga (paling bawah) pin TX terhubung ke pin D27 pada ESP32.
 - Pin RX (Receive) dari setiap modul PZEM004T terhubung ke pin TX (Transmit) yang berbeda pada ESP32.
- PZEM-004T pertama (paling atas) pin RX terhubung ke pin D4 pada ESP32.
- PZEM-004T kedua (tengah) pin RX terhubung ke pin D5 pada ESP32.
- PZEM-004T ketiga (paling bawah) pin RX terhubung ke pin D26 pada ESP32.



BOARD1

Gambar 3. Rangkaian Sensor PZEM004T

Dalam konteks program yang ada, rangkaian sensor PZEM004T ini berfungsi untuk mendeteksi parameter listrik (tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya) pada setiap fasa (R, S, T). ESP32 berkomunikasi dengan setiap modul PZEM004T secara independen melalui pin serial yang telah ditentukan (Serial2 dalam kode Anda, yang dipetakan ke pin-pin GPIO ini). Data yang dibaca dari sensor-sensor ini (voltage, current, power, energy, frequency, pf) kemudian digunakan untuk ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke ThingSpeak untuk pemantauan dan analisis jarak jauh. Konfigurasi ini memungkinkan pemantauan daya yang akurat dan terperinci untuk setiap fasa.

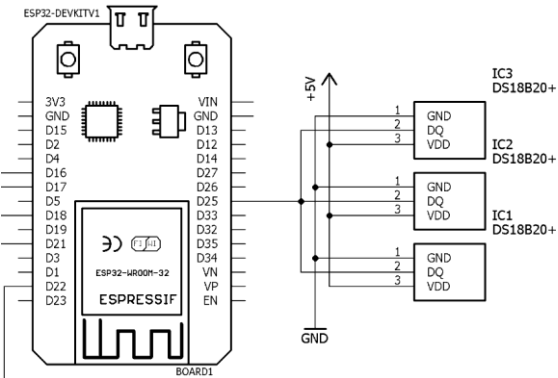
3.4 Rangkaian Sensor suhu DS18B20

Rangkaian ini menunjukkan koneksi tiga buah sensor suhu DS18B20 (dilabeli sebagai IC1 DS18B20+, IC2 DS18B20+, dan IC3 DS18B20+) ke modul ESP32-DEVKITV1. Sensor-sensor ini terhubung dalam konfigurasi *parasite mode* atau *normal mode* pada bus OneWire. Berdasarkan diagram, terlihat bahwa sensor-sensor ini dihubungkan dalam konfigurasi *normal mode* karena pin VDD (power) mereka terhubung ke +5V.

- **Koneksi Daya:**
 - Pin VDD (power) pada ketiga sensor DS18B20 terhubung ke sumber daya +5V. Ini menyediakan daya yang dibutuhkan oleh sensor untuk beroperasi.
 - Pin GND (Ground) pada ketiga sensor DS18B20 terhubung ke jalur GND

bersama, yang juga terhubung ke GND pada ESP32.

- **Koneksi Data (OneWire Bus):**
 - Pin DQ (Data) pada ketiga sensor DS18B20 dihubungkan secara paralel ke satu pin digital pada ESP32, yaitu pin D25. Pin D25 adalah pin GPIO ESP32 yang dikonfigurasi untuk berkomunikasi menggunakan protokol OneWire. Dalam protokol OneWire, beberapa perangkat dapat berbagi satu jalur data yang sama, dan setiap perangkat memiliki alamat unik untuk identifikasi.



Gambar 4' Rangkaian Sensor suhu

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian rangkaian

Pengujian awal sistem ini berfokus pada rangkaian catu daya dan modul ESP32. Pertama, catu daya 12V diuji untuk memastikan modul *step down* LM2596 berhasil menurunkan tegangan menjadi 5V yang stabil. Ini dilakukan dengan mengukur tegangan input dan output menggunakan *multimeter*, serta menyesuaikan *potensiometer* pada LM2596 hingga mencapai 5V yang diinginkan. Verifikasi polaritas dan kontinuitas kabel juga dilakukan untuk mencegah masalah kelistrikan.

Tabel 1. Data Pengujian Catu Daya

Pengukuran Ke-	Tegangan Input LM2596 (V)	Tegangan OUTPUT LM2596 (V)	Keterangan
1	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
2	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
3	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan

4	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
5	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
6	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
7	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
8	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
9	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan
10	12.1	5.0	Stabil, sesuai kebutuhan

Setelah catu daya terverifikasi, pengujian dilanjutkan pada modul ESP32. Ini mencakup pengujian daya hidup (memastikan LED menyala saat diberi daya 5V), pengujian fungsionalitas dasar dengan mengunggah program sederhana seperti "Blink" atau "Hello World" dan program membaca ID Chip untuk memastikan ESP32 dapat memproses dan berkomunikasi melalui Serial Monitor. Terakhir, pengujian konektivitas WiFi dilakukan dengan program yang mencoba terhubung ke jaringan, memverifikasi bahwa ESP32 dapat terhubung dan menampilkan alamat IP-nya. Pengujian ini memastikan fondasi sistem berfungsi optimal sebelum integrasi komponen lainnya.

4.2 Analisis Tegangan Tiap Fasa

Dari hasil pengukuran didapatkan rata-rata tegangan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil rata-rata Tegangan

Fasa	Tegangan rata-rata (Volt)	Rentang Tegangan (Volt)
R	±227,8	222 – 229,2
S	±226,9	222 – 227,6
T	±222,9	216,8 – 225

Terlihat bahwa tegangan fasa T sedikit lebih rendah dibanding fasa R dan S. Hal ini menunjukkan adanya ketidak seimbangan tegangan antar fasa sekitar 2–3%, yang masih berada dalam batas toleransi sistem tiga fasa (<5%).

Faktor-faktor yang menyebabkan Ketidak-seimbangan tegangan adalah :

- Panjang kabel antar fasa yang tidak sama,

- Distribusi beban yang tidak merata,
- atau resistansi sambungan yang berbeda.

4.3 Analisis Arus Tiap Fasa

Tabel 3. Hasil rata-rata Arus

Fasa	Arus Rata-rata (Amper)	Rentang Arus (Amper)
R	±14,08	13,9 – 14,1
S	±13,35	13,2 – 13,4
T	±12,85	12,7 – 12,9

Dari tabel di atas, arus fasa R paling tinggi di antara ketiga fasa, menandakan beban fasa R lebih dominan. Ketidakseimbangan arus mencapai sekitar 9–10% dari arus rata-rata sistem. Hal ini bisa memicu kenaikan suhu pada kabel fasa R dan menurunkan efisiensi sistem.

4.7 Analisis Suhu Konduktor / Kabel

Tabel 5.0. Analisis Suhu Konduktor / Kabel

Fasa	Suhu Rata-rata (°C)	Rentang Suhu (°C)
R	34,5	30,5 – 36
S	34,5	30,5 – 36
T	34,5	30,5 – 36,3

Kenaikan suhu kabel sejalan dengan peningkatan arus dan daya. Suhu maksimum sekitar 36°C, masih dalam batas aman untuk konduktor tembaga (maksimum 60°C). Fasa R menunjukkan kecenderungan suhu sedikit lebih tinggi pada jam beban puncak karena arusnya terbesar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem monitoring daya dan suhu berbasis IoT yang dirancang mampu membaca dan menampilkan parameter listrik (tegangan, arus, daya, faktor daya, dan suhu) setiap fasa secara real-time melalui platform berbasis internet. Hal ini mempermudah proses pemantauan kondisi kerja motor tiga fasa dari jarak jauh.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan antar fasa memiliki perbedaan sekitar 2–3%, yang masih berada dalam batas toleransi sistem tiga fasa. Namun, arus antar fasa berbeda hingga 10%, menandakan

adanya ketidakseimbangan beban pada sistem.

3. Faktor daya (power factor) sistem berkisar antara 0,83–0,88, dengan nilai terendah terjadi pada fasa T. Penurunan faktor daya ini disebabkan oleh beban induktif motor dan distribusi arus yang tidak seimbang antar fasa.
4. Suhu kabel meningkat seiring kenaikan arus dan daya, dengan suhu maksimum mencapai sekitar 36°C, masih dalam batas aman operasi. Sistem mampu mendeteksi kenaikan suhu secara akurat dan dapat diintegrasikan dengan fitur proteksi otomatis untuk mencegah kerusakan kabel akibat overheating.
5. Dari hasil perbandingan antar fasa, fasa R memiliki beban terbesar, diikuti oleh fasa S dan T. Ketidakseimbangan ini berpotensi menimbulkan rugi daya (losses) dan menurunkan efisiensi sistem, namun dapat diminimalkan dengan sistem proteksi yang aktif.
6. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang telah berfungsi sesuai tujuan, yaitu memonitor parameter kelistrikan dan suhu kabel motor tiga fasa secara real-time serta membantu identifikasi dini terhadap kondisi abnormal yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan faktor daya.

5.2 Saran

1. Pengembangan sistem disarankan untuk menambahkan fitur notifikasi otomatis melalui SMS atau aplikasi ketika terjadi kenaikan suhu atau penurunan faktor daya di bawah ambang batas, agar respon penanganan lebih cepat.
2. Perlu dilakukan kalibrasi sensor secara berkala, terutama sensor arus dan suhu, untuk memastikan akurasi data tetap terjaga selama penggunaan jangka panjang.
3. Untuk penelitian berikutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan kontrol otomatis beban atau kompensator daya reaktif (kapasitor bank) yang bekerja berdasarkan nilai faktor daya yang terbaca.
4. Implementasi sistem monitoring IoT ini dapat diperluas pada industri dengan skala beban lebih besar, sehingga efektivitasnya terhadap proteksi dan efisiensi energi dapat diuji lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Jefri Stender, 2018, *Rancang Bangun Sistem Monitoring Syslog Terpusat Menggunakan Kibana*.
- [2]. Desiana Wahyuningsih, 2021, *Monitoring dan Evaluasi Untuk Tercapainya Tujuan Kinerja*. Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro. ;5 (1) : 87.

- [3]. Anonym. *Datasheet DS18B20*. 2018 Tersedia pada: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- [4]. Nicholas LLG, Logenthiran T, Abidi K., 2017, Application of Internet of Things (IoT) for home energy management. *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*.
- [5]. Win H. 2017, *Implementation of WiFi-Based Single Fasa Meter for Internet of Things (IoT)*. IEEE International Electrical Engineering Congress. Pattaya, Thailand; 2017.
- [6]. Laghari AA, Wu K, Laghari RA, Ali M, Khan AA., 2022, *A review and state of art of Internet of Things (IoT)*. Archives of Computational Methods in Engineering. 2022;29(3):1395–1413.
- [7]. Burange A, Misalkar H. 2015, *Review of Internet of Things in Development of Smart Cities with Data Management and Privacy*. International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications. :189–195.
- [8]. Budijono S, Felita, 2021, *Smart Temperature Monitoring System Using ESP32 and DS18B20*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;794(1).
- [9]. Muliadi, Imran A, Rasul M. 2020, *Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32*. Jurnal Media Elektrik. 2020;17(2):73–79.
- [10]. Akbar SA, dkk., 2019, *Online Monitoring Kualitas Air Waduk Berbasis Thingspeak*. TRANSMISI. 2019;21(4):1–7.
- [11]. Reichelt Elektronik. *SBC-NODEMCU-ESP32 Datasheet V1.2*. [dikutip 15 Okt 2025]. Tersedia pada: https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A300/SBC-NODEMCU-ESP32-DATASHEET_V1.2.pdf
- [12]. NN Digital. *Mengenal PZEM-004T Modul Elektronik untuk Alat Pengukuran Listrik*. [dikutip 10 Okt 2025]. Tersedia pada: <https://www.nn-digital.com/blog/2019/07/10/mengenal-pzem-004t-modul-elektronik-untuk-alat-pengukuran-listrik/>
- [13]. Digiware Store. *DS18B20 Waterproof Temperature Probe Sensor Suhu Air*. [dikutip 10 Okt 2025]. Tersedia pada: <https://digiwarestore.com/en/temperature-sensor/ds18b20-waterproof-temperature-probe-sensor-suhu-air-296473.html>
- [14]. Rakhman.net. *Tegangan 3 Fasa*. [dikutip 15 Okt 2025]. Tersedia pada: <https://rakhman.net/electrical-id/tegangan-3-fasa/>