

Sistem IoT Berbasis MQTT untuk Billing Otomatis dan Monitoring Energi Meja Biliar

^{1*}Yan Yusril Muzaky, ²Julian Sahertian, ³Ratih Kumalasari Niswatin

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹yanyusril22@gmail.com, ²juliansahertian@unpkediri.ac.id, ³ratih@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Yan Yusril Muzaky

Abstrak— Usaha penyewaan meja biliar umumnya masih dikelola secara manual sehingga rawan ketidakakuratan data, pemborosan energi, dan ketiadaan laporan transaksi. Penelitian ini membangun sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mengintegrasikan mikrokontroler *ESP32*, protokol *MQTT*, *relay*, *sensor* daya *PZEM-004T*, dan aplikasi web *Laravel* untuk mengotomasi billing sekaligus mengendalikan lampu meja biliar secara real-time. Sistem menerapkan mekanisme *prepaid*: lampu menyala otomatis saat transaksi dikonfirmasi dan padam sendiri ketika durasi habis. Pengujian menunjukkan waktu respons rata-rata $\pm 0,40$ detik dengan keberhasilan komunikasi *MQTT* 100% dari 20 percobaan. Akurasi billing terbukti tanpa selisih terhadap perhitungan manual pada empat skenario uji. *Dashboard* menyajikan monitoring status meja, estimasi konsumsi daya *PZEM-004T*, dan laporan keuangan harian. Seluruh 12 fitur lulus uji fungsional dan pengguna menyatakan sistem mudah dioperasikan tanpa pelatihan teknis.

Kata Kunci— Billing Otomatis, *ESP32*, *IoT*, *MQTT*, Monitoring Energi

Abstract— Billiard table rental businesses are commonly managed manually, making them prone to data inaccuracies, energy waste, and the absence of transaction reports. This study develops an *Internet of Things (IoT)*-based system integrating an *ESP32* microcontroller, *MQTT* protocol, *relay* module, *PZEM-004T* power sensor, and a *Laravel* web application to automate billing while controlling billiard table lights in real time. The system applies a *prepaid* mechanism where the light turns on automatically upon transaction confirmation and switches off once the rental duration expires. Tests show an average response time of ± 0.40 seconds with 100% *MQTT* communication success across 20 trials. Billing accuracy was verified with zero discrepancy against manual calculations in four scenarios. The dashboard provides real-time table status monitoring, *PZEM-004T* power consumption estimates, and daily financial reports. All 12 features passed functional testing and users confirmed easy operation without technical training.

Keywords— Automatic Billing, Energy Monitoring, *ESP32*, *IoT*, *MQTT*.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* membuka peluang bagi berbagai sektor untuk beroperasi lebih efisien dan terdigitalisasi [1]. Salah satu sektor yang belum banyak tersentuh adalah usaha penyewaan meja biliar, yang umumnya masih mengandalkan pencatatan waktu manual dan pengendalian lampu oleh operator. Kondisi ini kerap menimbulkan ketidakselarasan antara waktu pemakaian tercatat dan waktu nyata, sekaligus

berpotensi memboroskan energi listrik akibat lampu tidak dimatikan tepat waktu saat sewa berakhir [6][7].

Protokol *MQTT* terbukti unggul untuk komunikasi *IoT* real-time berkat bobot pesan ringan dan latensi rendah meski dijalankan pada jaringan terbatas [2][10]. *ESP32* dipilih sebagai pengendali utama karena memiliki modul *Wi-Fi* terintegrasi dan kompatibel dengan berbagai *sensor* serta *aktuator* [3]. *Relay* berperan sebagai *aktuator* penghubung sinyal logika *ESP32* dengan arus listrik tegangan tinggi [11], sementara *sensor PZEM-004T* memungkinkan pemantauan konsumsi daya lampu secara real-time [9]. Kombinasi teknologi ini telah diaplikasikan pada beragam sistem kendali otomatis, mulai dari pemberi pakan ikan [4] hingga saklar rumah pintar berbantuan asisten suara [5].

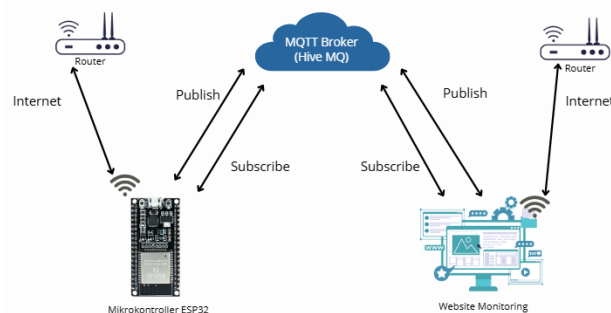
Syaftriandi et al. membangun prototipe billing biliar berbasis *ESP32* dan *MQTT* dengan kemampuan menghitung durasi dan mengontrol lampu secara otomatis [6]. Namun sistem tersebut belum menyertakan pemesanan menu, mekanisme pembayaran di muka terintegrasi, monitoring konsumsi daya, maupun laporan keuangan terperinci. Bangun dan Widiyari mengonfirmasi bahwa billing berbasis *IoT* meningkatkan akurasi dan transparansi transaksi [7]. Zaelani et al. juga membuktikan bahwa billing otomatis berbasis durasi pada sistem pompa air mampu menekan kesalahan pencatatan manual secara signifikan [9]. Safitri dan Priambodo menegaskan keunggulan *MQTT* dibandingkan *CoAP* untuk pertukaran data *IoT* yang membutuhkan respons cepat [10], sedangkan Solihin menunjukkan bahwa monitoring berbasis *IoT* pada sistem billing layanan berbasis waktu meningkatkan efisiensi operasional [12].

Berdasarkan kajian di atas, penelitian ini mengembangkan sistem *IoT* terpadu yang mengintegrasikan *ESP32*, *relay 4 channel*, *sensor PZEM-004T*, broker *MQTT HiveMQ*, dan aplikasi web *Laravel* untuk mengatasi seluruh kesenjangan tersebut dalam satu *platform*. Kontribusi utama meliputi billing *prepaid* terintegrasi kendali lampu otomatis, monitoring energi real-time via *PZEM-004T* [8], dan *dashboard web* beserta laporan keuangan harian yang memuat estimasi biaya listrik operasional [11][12].

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Development Research* yang berfokus pada perancangan, pembangunan, dan evaluasi prototipe sistem *IoT* billing biliar. Tahapan yang dilalui meliputi studi literatur, observasi lapangan di DLS POOL Kabupaten Nganjuk, pengumpulan data melalui wawancara dengan pengelola, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian fungsional dan non-fungsional.

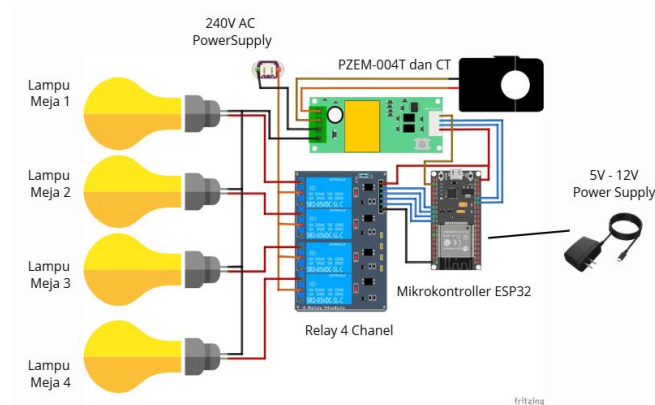
A. Arsitektur Sistem



Gambar 1. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari tiga lapisan utama yang saling terhubung. Lapisan perangkat keras mencakup mikrokontroler *ESP32*, modul *relay* 4 channel, sensor *PZEM-004T*, dan lampu meja biliar sebagai beban listrik. Lapisan komunikasi memanfaatkan protokol *MQTT* dengan *broker HiveMQ* berbasis *cloud* sebagai perantara pertukaran pesan antara perangkat *IoT* dan aplikasi web. Lapisan aplikasi dibangun menggunakan *framework Laravel* yang menangani logika billing, antarmuka *dashboard*, dan penyimpanan data pada basis data *MySQL*. *ESP32* berperan ganda sebagai *subscriber* yang menerima perintah kendali lampu dan sebagai *publisher* yang mengirimkan status *relay* serta data konsumsi daya secara berkala ke broker.

B. Perangkat Keras



Gambar 2. Rangkaian Perangkat Keras

Komponen perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. *ESP32* dipilih karena memiliki modul *Wi-Fi* terintegrasi dan pin *GPIO* yang cukup untuk mengontrol empat kanal *relay* secara independen. Modul *relay* 4 channel berfungsi sebagai *aktuator* yang menghubungkan sinyal logika *ESP32* dengan arus listrik AC 220 V yang mengalir ke lampu meja. Sensor *PZEM-004T* ditempatkan pada jalur suplai listrik lampu dan berkomunikasi dengan *ESP32* melalui antarmuka serial *UART* untuk membaca tegangan, arus, daya, dan energi kumulatif secara real-time. *Power supply* 5 V DC menyuplai *ESP32* dan modul *relay*, sementara lampu meja biliar beroperasi pada tegangan 220 V AC yang dialirkan melalui kontak *relay*.

C. Perangkat Lunak

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan *Arduino IDE* dengan bahasa C++ yang mencakup logika koneksi *Wi-Fi*, manajemen sesi *MQTT*, pengendalian *GPIO* untuk *relay*, serta pembacaan data sensor *PZEM-004T*. Aplikasi web dikembangkan dengan *Laravel* (PHP) dan didukung basis data *MySQL*. Sistem web mengelola tujuh modul utama, yaitu *login*, *dashboard*, transaksi, data meja, data menu, manajemen kasir, dan laporan keuangan. *Laravel* juga menjalankan proses *subscriber MQTT* melalui perintah artisan khusus sehingga data status *relay* dan konsumsi daya dari *ESP32* dapat diterima, disimpan, dan ditampilkan secara real-time tanpa perlu *refresh* halaman oleh pengguna.

D. Algoritma Billing Prepaid

Mekanisme billing bersifat deterministik dan ditetapkan seluruhnya di awal sesi. Kasir memilih meja dan memasukkan durasi sewa (*Djam*) melalui *modal dialog*. Biaya sewa dihitung menggunakan persamaan:

$$B_{sewa} = D_{jam} \times P_{jam} \quad (1)$$

Jika pelanggan juga memesan menu makanan atau minuman, nilai subtotal item tambahan dihitung sebagai:

$$B_{item} = \sum (q_{tyi} \times price_i) \quad (2)$$

Total tagihan keseluruhan kemudian diperoleh dari:

$$B_{total} = B_{sewa} + B_{item} \quad (3)$$

Setelah transaksi dikonfirmasi dan pembayaran diterima, sistem secara otomatis mengirimkan perintah ON ke topik *MQTT* yang sesuai dengan nomor meja. *ESP32* kemudian mengaktifkan pin *GPIO relay* dan mengirimkan status kembali ke broker agar *dashboard* segera diperbarui. Hitungan mundur berjalan di sisi server, dan ketika mencapai nol, *Laravel* menerbitkan perintah OFF sehingga *relay* mati dan lampu padam tanpa campur tangan operator.

E. Metode Pengujian

Pengujian sistem dilaksanakan dalam dua kategori. Pengujian fungsional menggunakan metode *black box testing* untuk memverifikasi keluaran setiap fitur berdasarkan masukan tertentu, dilengkapi *white box testing* terbatas pada logika billing dan kendali *relay*. Pengujian non-fungsional mencakup pengukuran waktu respons *MQTT*, uji keandalan *publish-subscribe* dengan 20 percobaan berturut-turut, verifikasi akurasi billing *prepaid* terhadap perhitungan manual, serta evaluasi langsung oleh kasir dan admin DLS POOL sebagai pengguna nyata sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Perangkat Keras



Gambar 3. Implementasi Perangkat Keras

Prototipe sistem berhasil dirangkai dalam satu kotak kontrol yang memuat *ESP32*, modul *relay* 4 channel, *sensor PZEM-004T*, dan power supply 5 V DC. Setiap kanal *relay* terhubung ke satu

lampu meja biliar melalui jalur listrik 220 V AC yang terpisah dari rangkaian kontrol bertegangan rendah. Pemisahan ini penting untuk menjaga stabilitas sinyal logika *ESP32* dari gangguan tegangan tinggi. *Sensor PZEM-004T* ditempatkan langsung pada jalur suplai arus lampu menggunakan transformator arus (CT) bawaan sehingga dapat memantau parameter kelistrikan dari keempat meja secara bersamaan. Pengujian fisik membuktikan bahwa *ESP32* mampu mengaktifkan dan menonaktifkan *relay* setiap meja secara independen sesuai perintah *MQTT* yang diterima, tanpa interferensi antarkanal.

B. Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem terdiri dari dua komponen utama yang saling terintegrasi: firmware *ESP32* dan aplikasi web berbasis *Laravel*.

1. Firmware *ESP32*.

Dikembangkan menggunakan *Arduino IDE* dengan bahasa C++. Program mengelola koneksi *Wi-Fi* dan autentikasi ke broker *MQTT HiveMQ*, subscribe pada topik perintah *relay* sesuai nomor meja, eksekusi logika ON/OFF *GPIO relay*, pembacaan data *PZEM-004T* via *UART*, serta publish status *relay* dan data daya ke broker setiap interval tertentu. Ketika perintah ON diterima, *ESP32* mengaktifkan pin *GPIO* yang terhubung *relay* meja bersangkutan; perintah OFF memutus sinyal sehingga lampu padam.

2. Aplikasi Web *Laravel*.

Dikembangkan dengan *framework Laravel* (PHP) dan basis data *MySQL*. Sistem mengelola tujuh modul yang saling terhubung sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

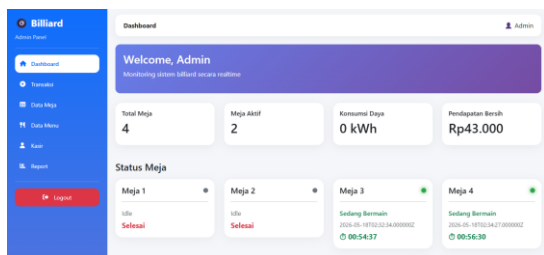
Tabel 1. Modul Utama Aplikasi Web *Laravel*

No.	Modul	Fungsi Utama	Tujuan Penggunaan
1	<i>Login</i>	Autentikasi pengguna via <i>Laravel Guard</i>	Membatasi akses hanya admin dan kasir
2	<i>Dashboard</i>	Tampilan status meja, <i>relay</i> , daya, pendapatan	Monitoring operasional real-time
3	Transaksi	<i>Billing prepaid</i> dan kontrol lampu otomatis	Mengotomasi penyewaan meja biliar
4	Data Meja	Kelola data meja dan tarif sewa per jam	Konfigurasi meja dan harga
5	Data Menu	Kelola produk makanan dan minuman	Mendukung pesanan tambahan pelanggan
6	Manajemen Kasir	Kelola akun pengguna sistem	Menjaga keamanan akses sistem
7	Laporan	Rekap transaksi, pendapatan, biaya listrik	Evaluasi operasional harian

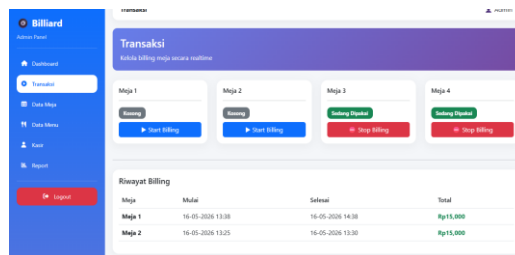
Laravel menjalankan proses *subscriber MQTT* melalui perintah artisan khusus (php artisan *MQTT:subscribe*) yang berjalan secara *background*. Setiap pesan yang masuk dari *ESP32*

berupa status *relay* maupun data daya *PZEM-004T* langsung disimpan ke database *MySQL* dan memperbarui tampilan *dashboard* secara real-time tanpa refresh manual. Alur kerja antar modul berjalan secara otomatis: modul Transaksi mengambil tarif dari Data Meja dan harga dari Data Menu, menghitung tagihan via persamaan (1)–(3), lalu menerbitkan perintah *MQTT* ke *ESP32*; setelah sesi selesai, data tersimpan otomatis dan dapat diakses via modul Laporan.

C. Tampilan Antarmuka Sistem



Gambar 4. Antarmuka *Dashboard*



Gambar 5. Antarmuka Transaksi

Antarmuka dirancang dengan prinsip kesederhanaan dan kemudahan navigasi menggunakan *framework CSS Tailwind*. Halaman *dashboard* seperti gambar 4 menampilkan empat ringkasan utama di bagian atas (total meja, meja aktif, konsumsi daya hari ini, pendapatan bersih), diikuti kartu status setiap meja dengan indikator lampu ON/OFF dan hitungan mundur durasi sewa yang diperbarui setiap detik. Halaman transaksi seperti Gambar 5 menampilkan kartu meja dalam dua kondisi yaitu Kosong (tombol *Start Billing*) dan Sedang Dipakai (tombol *Stop Billing*), serta *modal dialog* input durasi dan pesanan menu dengan kalkulasi tagihan real-time. Halaman laporan menyediakan filter tanggal dan menampilkan total pendapatan kotor, biaya modal menu, estimasi biaya listrik dari *PZEM-004T*, serta pendapatan bersih dalam satu tampilan terpadu.

D. Pengujian Fungsional Sistem

Black box testing dilakukan terhadap 12 fitur utama sistem. Seluruh fitur berhasil menghasilkan keluaran yang sesuai dengan harapan tanpa ditemukan error, seperti dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman Hasil Pengujian Fungsional

No	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	<i>Login</i> dengan kredensial valid	Masuk ke <i>dashboard</i> sesuai hak akses	Sesuai	Berhasil
2	<i>Login</i> dengan kredensial salah	Sistem menolak dan menampilkan pesan error	Sesuai	Berhasil
3	Tampilan <i>dashboard</i> real-time	Status meja, lampu, daya, dan pendapatan tampil langsung	Sesuai	Berhasil
4	Modal <i>Start Billing</i>	Modal terbuka dengan form durasi sewa dan pilihan menu	Sesuai	Berhasil
5	Input durasi dan pesanan menu	Total tagihan terhitung otomatis	Sesuai	Berhasil
6	Konfirmasi transaksi	Data tersimpan, lampu	Sesuai	Berhasil

No	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
	<i>prepaid</i>	menyala via <i>MQTT</i> , timer mulai		
7	Kontrol lampu oto-matis (waktu habis)	Lampu padam tanpa intervensi operator	Sesuai	Berhasil
8	Kelola data meja	Perubahan tersimpan dan terintegrasi dengan <i>relay IoT</i>	Sesuai	Berhasil
9	Kelola data menu	Data produk diperbarui di modal transaksi	Sesuai	Berhasil
10	Kelola akun kasir	Akun tersimpan, kasir dapat <i>login</i>	Sesuai	Berhasil
11	Laporan pendapatan	Laporan muncul sesuai tanggal yang dipilih	Sesuai	Berhasil
12	Logout sistem	Sesi berakhir, kembali ke halaman <i>login</i>	Sesuai	Berhasil

E. Pengujian Waktu Respons dan Keandalan *MQTT*

Pengukuran waktu respons dilakukan dengan mencatat selisih waktu antara perintah dikirimkan dari *dashboard* hingga *relay ESP32* mengubah kondisi lampu. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu Respons Komunikasi *MQTT*

No	Perintah	Target	Hasil	Status
1	Lampu ON – Uji 1	< 1 detik	$\pm 0,40$ detik	Sesuai
2	Lampu ON – Uji 2	< 1 detik	$\pm 0,40$ detik	Sesuai
3	Lampu ON – Uji 3	< 1 detik	$\pm 0,40$ detik	Sesuai
4	Lampu OFF – Uji 1	< 1 detik	$\pm 0,40$ detik	Sesuai
5	Lampu OFF – Uji 2	< 1 detik	$\pm 0,40$ detik	Sesuai

Rata-rata waktu respons yang diperoleh adalah $\pm 0,40$ detik, jauh di bawah ambang batas 1 detik yang ditetapkan dalam kebutuhan non-fungsional. Nilai ini mengkonfirmasi bahwa penggunaan broker *MQTT* berbasis *cloud HiveMQ* mampu mempertahankan latensi yang sangat rendah bahkan ketika perangkat IoT dan server web berada pada jaringan yang berbeda. Uji keandalan menunjukkan tingkat keberhasilan komunikasi publish-subscribe sebesar 100% dari 20 percobaan pengiriman pesan, melampaui target keandalan minimum 95% yang telah ditetapkan.

F. Akurasi Billing *Prepaid*

Verifikasi akurasi billing dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan sistem terhadap nilai yang diperoleh secara manual untuk empat skenario berbeda. Tabel 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat selisih pada semua skenario uji, membuktikan kebenaran implementasi persamaan (1), (2), dan (3) dalam sistem.

Tabel 4. Hasil Pengujian Akurasi Algoritma Billing *Prepaid*

Durasi	Tarif/Jam	Pesanan Menu	Total Manual	Total Sistem	Status
--------	-----------	--------------	--------------	--------------	--------

1 jam	Rp15.000	Rp10.000	Rp25.000	Rp25.000	Sesuai
2 jam	Rp30.000	Rp0	Rp30.000	Rp30.000	Sesuai
1 jam	Rp15.000	Rp15.000	Rp30.000	Rp30.000	Sesuai
3 jam	Rp45.000	Rp20.000	Rp65.000	Rp65.000	Sesuai

G. Evaluasi Pengguna dan Perbandingan dengan Sistem Manual

Evaluasi langsung oleh kasir dan admin DLS POOL terhadap 18 aspek penggunaan memberikan hasil yang sangat positif. Seluruh pengguna menyatakan sistem mudah dipahami dan dioperasikan tanpa pelatihan teknis khusus. Proses *Start Billing* melalui *modal dialog* dinilai jauh lebih cepat dan intuitif dibandingkan pencatatan manual. Fitur monitoring daya real-time dan laporan keuangan harian dianggap memberikan informasi yang sebelumnya tidak tersedia, sehingga pemilik usaha dapat memantau keuntungan bersih setelah dikurangi biaya modal menu dan biaya listrik operasional.

Tabel 5 merangkum perbandingan antara sistem manual yang sebelumnya digunakan dengan sistem IoT yang dikembangkan.

Tabel 5. Perbandingan Sistem Manual vs Sistem Berbasis IoT

Aspek	Sistem Manual	Sistem Berbasis IoT
Pencatatan Durasi	Manual oleh operator (jam/stopwatch)	Otomatis oleh sistem saat <i>Start/Stop Billing</i>
Kontrol Lampu	Dimatikan manual setelah waktu habis	Padam otomatis via <i>MQTT</i> saat sesi berakhir
Akurasi Biaya	Rentan kesalahan hitung manual	Akurat 100% via algoritma <i>billing prepaid</i>
Pencatatan Transaksi	Buku catatan atau kertas	Tersimpan otomatis di basis data <i>MySQL</i>
Pemantauan Status Meja	Pengamatan langsung saja	Real-time di halaman <i>dashboard</i>
Laporan Pendapatan	Dihitung ulang secara periodik	Otomatis, dapat diakses berdasarkan tanggal
Monitoring Listrik	Tidak tersedia	Real-time via sensor <i>PZEM-004T</i>

H. Pembahasan

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi *ESP32*, *MQTT*, dan *Laravel* mampu membentuk ekosistem IoT yang responsif, andal, dan mudah digunakan untuk kebutuhan bisnis penyewaan berbasis waktu. Waktu respons $\pm 0,40$ detik yang diperoleh sejalan dengan temuan Makhur et al. yang melaporkan respons sangat cepat pada sistem kontrol lampu berbasis *MQTT* [10], sekaligus memvalidasi klaim Sima et al. bahwa protokol *MQTT* memiliki latensi rendah yang cocok untuk kendali lampu otomatis [3].

Dibandingkan dengan penelitian Syaftriandi et al. [8] yang menjadi acuan terdekat, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini hadir dengan fitur yang lebih komprehensif, mencakup pemesanan menu terintegrasi, monitoring konsumsi energi menggunakan sensor *PZEM-004T*,

laporan keuangan yang memuat perhitungan laba bersih, serta antarmuka web yang lebih terstruktur menggunakan *framework Laravel*. Penambahan *sensor PZEM-004T* terbukti memberikan nilai tambah nyata karena memungkinkan pengelola mengestimasi biaya listrik operasional harian langsung dari *dashboard* tanpa perlu pencatatan terpisah.

Satu keterbatasan yang perlu diperhatikan adalah ketergantungan sistem terhadap koneksi internet yang stabil untuk menjaga komunikasi *MQTT* antara *Laravel* dan *ESP32*. Gangguan jaringan berpotensi menunda perintah kendali lampu, meskipun dalam pengujian kondisi ini tidak ditemukan karena pengujian dilakukan pada jaringan lokal yang stabil. Penelitian ke depan disarankan untuk mengimplementasikan broker *MQTT* lokal sebagai cadangan agar sistem tetap beroperasi saat koneksi internet terganggu.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun sistem IoT berbasis *MQTT* untuk otomatisasi billing dan pengendalian lampu meja biliar yang terintegrasi dengan *dashboard* web real-time menggunakan *framework Laravel*. Tiga tujuan penelitian telah tercapai: (1) sistem billing *prepaid* mampu mengelola pemesanan meja, penghitungan durasi otomatis, dan pemesanan menu dalam satu alur transaksi yang terpadu; (2) lampu meja dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan durasi sewa melalui protokol *MQTT* dengan waktu respons rata-rata $\pm 0,40$ detik dan keandalan 100%; serta (3) *dashboard* dan laporan keuangan real-time berhasil menyediakan informasi operasional yang sebelumnya tidak tersedia, termasuk estimasi konsumsi energi listrik harian dari *sensor PZEM-004T*.

Pengujian fungsional terhadap 12 fitur dan evaluasi oleh pengguna nyata membuktikan bahwa sistem dapat diandalkan dan mudah dioperasikan tanpa pelatihan teknis. Untuk pengembangan lanjutan, disarankan penambahan broker *MQTT* lokal sebagai *failover*, integrasi *payment gateway* digital, notifikasi otomatis kepada pelanggan menjelang akhir durasi sewa, serta pengujian pada skala meja yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Nusantara PGRI Kediri atas dukungan akademik dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada pengelola DLS POOL Kabupaten Nganjuk yang telah memberikan izin dan kemudahan selama proses observasi dan pengujian sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Setiawan, J. Sahertian, A. Dusea, and W. Dara, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Penyiram Tanaman Padi Berbasis IoT (Internet Of Things)," Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi), vol. 5, no. 2, pp. 166–173, 2021.
- [2] B. A. Sima, R. Buaton, and M. Sihombing, "IOT Based Automatic Light Control System Using MQTT Protocol," International Journal of Informatics, Economics, Management and Science, vol. 3, no. 1, p. 1, Jan. 2024, doi: 10.52362/ijiems.v3i1.1213.

- [3] F. Annisa et al., “Sistem Controlling Pembuatan Pakan Ternak Silase Menggunakan ESP32 Berbasis IoT,” *Generation Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 2580–4952, 2025.
- [4] M. A. Maulana, Harianto, Musayyanah, and W. I. K., “Monitoring Dan Controlling Pemberi Pakan Ikan Otomatis Pada Akuarium Menggunakan MQTT,” *Journal of Advances in Information and Industrial Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 69–80, Nov. 2022, doi: 10.52435/jaiit.v4i2.248.
- [5] B. M. Susanto, A. Hariyanto, D. Wijanarko, and M. K. Albab, “Sistem pengendali saklar berbasis Nodemcu ESP8266 dengan aplikasi MQTT dan Google Assistant,” *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, vol. 14, no. 2, Nov. 2022, doi: 10.28989/angkasa.v14i2.1380.
- [6] M. J. Syafrandi, R. Almaheri, A. Pratama, Y. Aprizal, and F. Irawan, “Prototipe Sistem Manajemen Billing Dan Lampu Billiard Otomatis Berbasis IoT Dengan ESP32 Dan MQTT,” *BULLET : Jurnal Multidisiplin Ilmu*, vol. 4, pp. 62–72, 2025.
- [7] K. R. Bangun and I. R. Widadari, “Implementation Of An IOT Based Billing System To Optimize management Of Billiard Table Usage,” *Inovtek Polbeng Journal-Informatics Series*, vol. 9, no. 2, 2024.
- [8] M. A. Makhrus, R. Siwi Pradini, and N. Rikatsih, “Implementasi Internet of Things (IoT) Dengan Protokol Komunikasi MQTT Pada Sistem Kontrol Lampu Ruangan,” *Journal of Informatics and Advanced Computing (JIAC)*, vol. 6, no. 1, 2025.
- [9] M. B. N. S. Zaelani, F. Masykur, and D. Riyanto, “Perancangan Sistem Monitoring dan Billing Otomatis Pompa Air Sawah Berbasis Internet of Things,” *Seminar Nasional Fortei Regional*, vol. 7, 2025.
- [10] N. A. Safitri and A. Seto Priambodo, “MQTT and CoAP Communication Protocol Analysis in Internet of Things System for Strawberry Hydroponic Plants,” 2023. [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/v3/jraee>
- [11] A. H. Safitra, “Prototipe Sistem Kontrol Lampu LED Melalui Jaringan Internet Berbasis Arduino,” *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 16–20, 2021.
- [12] A. Solihin, “Implementasi sistem monitoring dan billing otomatis berbasis Internet of Things pada pompa air sawah,” *Jurnal Teknologi Pertanian Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 15–24, 2025.