

Implementasi Algoritma Penjadwalan Pesan Dinamis pada Jam LED Matrix Berbasis Arduino Menggunakan Metode Research and Development

M. Raffi Fauzi^{*1}, Muhammad Gald Teary², Tasmi³

^{1,2,3}Sistem Komputer, Fakultas Komputer dan Sains, Universitas Indo Global Mandiri

Email: ^{*1}raffifauzi84@gmail.com , ²m.gald@uigm.ac.id , ³tasmi@uigm.ac.id

Abstrak: Jam digital konvensional umumnya hanya menampilkan informasi waktu secara statis tanpa adanya interaksi komunikatif dengan pengguna, sehingga perangkat tersebut kurang optimal dalam memberikan pengalaman pengguna yang humanis. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem jam LED matrix interaktif yang mampu menampilkan waktu dan pesan sapaan secara bergantian (interleaving) berdasarkan konteks waktu real-time. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model prototyping yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO yang terintegrasi dengan modul Real-Time Clock (RTC) DS3231 untuk akurasi waktu dan LED Matrix 8x32 piksel dengan driver MAX7219 sebagai media tampilan. Algoritma penjadwalan pesan dinamis dirancang untuk menentukan ucapan sapaan berdasarkan empat segmentasi waktu: pagi (04:00-09:59), siang (10:00-14:59), sore (15:00-17:59), dan malam (18:00-03:59). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan transisi mulus antara mode tampilan jam dan pesan teks dengan efek animasi scroll left, serta mencapai akurasi pemicuan pesan sebesar 100% sesuai dengan rentang waktu yang telah ditentukan. Implementasi ini memberikan kontribusi pada pengembangan perangkat informasi display yang lebih komunikatif dan berorientasi pada interaksi manusia-komputer.

Kata Kunci – Jam LED Matrix; Algoritma Penjadwalan Dinamis; Arduino UNO; Time-Aware Greeting; Human Computer Interaction

Abstract: Conventional digital clocks generally only display time information statically without any communicative interaction with users, making such devices less optimal in providing a humanistic user experience. This research aims to develop an interactive LED matrix clock system capable of displaying time and greeting messages alternately (interleaving) based on real-time context. The method used is Research and Development (R&D) with a prototyping model that includes the stages of requirements analysis, system design, implementation, and testing. The system was developed using an Arduino UNO microcontroller integrated with a DS3231 Real-Time Clock (RTC) module for time accuracy and an 8x32 pixel LED Matrix with MAX7219 driver as the display medium. A dynamic message scheduling algorithm was designed to determine greeting messages based on four time segments: morning (04:00-09:59), afternoon (10:00-14:59), evening (15:00-17:59), and night (18:00-03:59). Test results show that the system successfully performs smooth transitions between clock display mode and text messages with scroll left animation effects, achieving 100% message triggering accuracy according to the predetermined time ranges. This implementation contributes to the development of more communicative information display devices oriented towards human-computer interaction.

Keywords – LED Matrix Clock; Dynamic Scheduling Algorithm; Arduino UNO; Time-Aware Greeting; Human Computer Interaction

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa perubahan signifikan pada berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam hal penyajian informasi waktu [1]. Perangkat penampil informasi (information display) telah mengalami evolusi dari sistem analog konvensional menuju sistem digital yang lebih canggih dan interaktif [2]. Dalam konteks ini, jam digital sebagai salah satu perangkat penampil waktu yang paling umum digunakan, turut mengalami transformasi baik dari segi teknologi maupun fungsionalitasnya.

Jam digital konvensional pada umumnya dirancang untuk menampilkan informasi waktu secara statis, yakni hanya menampilkan format jam, menit, dan detik tanpa adanya fitur tambahan yang bersifat komunikatif [3]. Keterbatasan ini menyebabkan perangkat jam digital kurang optimal dalam memberikan pengalaman pengguna (user experience) yang humanis dan interaktif. Padahal, dalam perspektif Human Computer Interaction (HCI), sebuah perangkat yang baik seharusnya mampu memberikan respons yang bersifat manusiawi kepada penggunanya [4].

Konsep Human Computer Interaction menekankan pentingnya interaksi yang natural dan intuitif antara manusia dengan sistem komputer atau perangkat elektronik [5]. Salah satu implementasi konsep HCI yang dapat diterapkan pada perangkat jam digital adalah fitur Time-Aware Greeting, yakni kemampuan perangkat untuk memberikan sapaan atau ucapan yang sesuai dengan konteks waktu saat ini. Fitur ini tidak hanya meningkatkan nilai fungsional perangkat, tetapi juga memberikan sentuhan personal yang dapat meningkatkan kepuasan pengguna.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi pengembangan jam digital berbasis mikrokontroler dengan berbagai fitur tambahan. Penelitian yang dilakukan oleh Handayani [1] mengembangkan papan informasi digital berbasis Arduino dan Android di laboratorium kampus menggunakan LED Matrix P10, namun sistem tersebut belum mengintegrasikan fitur pesan dinamis berbasis waktu. Sementara itu, penelitian oleh Kurniawan et al. [6] mengimplementasikan sistem informasi digital berbasis mikrokontroler untuk jadwal waktu sholat, yang menunjukkan potensi penerapan pesan kontekstual pada perangkat display.

Teknologi LED matrix telah banyak digunakan sebagai media tampilan informasi karena kemampuannya dalam menampilkan karakter alfanumerik dan grafis sederhana dengan konsumsi daya yang relatif rendah [7]. LED Matrix dengan konfigurasi 8x32 piksel yang menggunakan driver MAX7219 menjadi pilihan populer dalam pengembangan sistem tampilan berbasis mikrokontroler karena kemudahan dalam pengontrolan dan ketersediaan library pendukung yang komprehensif [8].

Modul Real-Time Clock (RTC) DS3231 merupakan komponen penting dalam sistem jam digital yang memerlukan akurasi tinggi [9]. Modul ini dilengkapi dengan kristal osilator terintegrasi dan kompensasi suhu otomatis (Temperature Compensated Crystal Oscillator/TCXO) yang memungkinkan akurasi waktu hingga ± 2 ppm pada rentang suhu 0°C hingga $+40^{\circ}\text{C}$ [10]. Keunggulan lain dari modul DS3231 adalah adanya baterai cadangan yang memungkinkan waktu tetap berjalan meskipun catu daya utama terputus.

Berdasarkan analisis terhadap state of the art dan identifikasi kesenjangan penelitian (research gap), penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem jam LED matrix interaktif yang mampu menampilkan waktu dan pesan sapaan secara bergantian berdasarkan algoritma penjadwalan dinamis. Novelitas penelitian ini terletak pada implementasi algoritma Time-Aware Greeting yang memungkinkan sistem menampilkan ucapan sapaan yang kontekstual sesuai dengan segmentasi waktu, sehingga menciptakan interaksi yang lebih humanis antara perangkat dengan pengguna.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana merancang dan mengimplementasikan algoritma penjadwalan pesan dinamis pada sistem jam LED matrix berbasis Arduino? (2) Bagaimana kinerja sistem dalam melakukan transisi antara mode tampilan jam dan pesan teks? (3) Bagaimana tingkat akurasi pemicuan pesan berdasarkan segmentasi waktu yang telah ditentukan?

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi kontribusi teoritis berupa pengembangan algoritma penjadwalan pesan dinamis untuk sistem embedded, serta kontribusi praktis berupa prototipe perangkat jam LED matrix interaktif yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi smart home dan digital signage.

2. METODE PENELITIAN

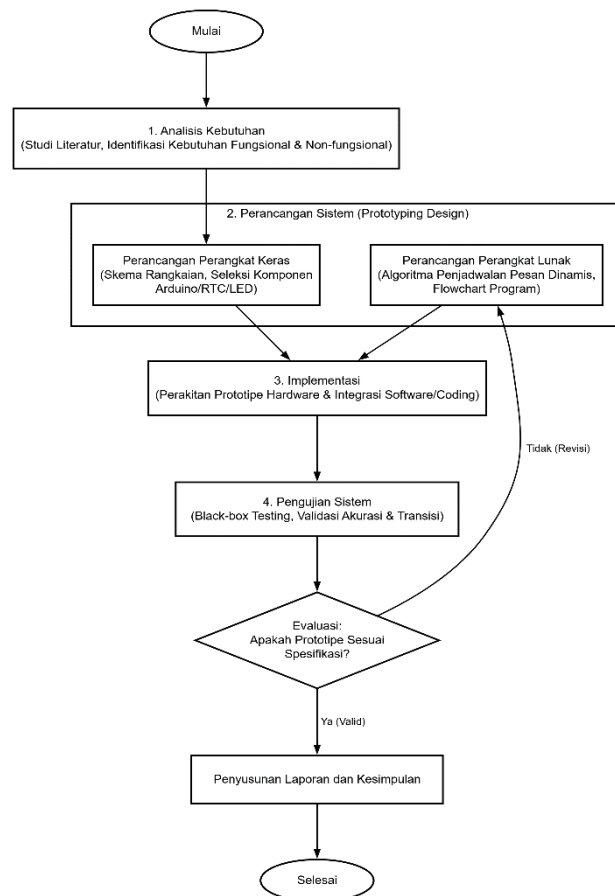
Metode Penelitian (bisa meliputi analisa, arsitektur, metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah, implementasi), dalam bahasan ini penulis bisa menguraikan bagaimana penelitian tersebut dilakukan.

2.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk baru melalui proses pengembangan yang sistematis [11]. Model pengembangan yang digunakan adalah *prototyping*, yang memungkinkan iterasi cepat dalam proses perancangan dan pengujian sistem [12]. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik penelitian yang berorientasi pada pengembangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) terintegrasi.

2.2. Alur Penelitian

Alur penelitian dalam pengembangan sistem jam LED matrix interaktif terdiri dari empat tahapan utama sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian Metode Research and Development

2.2.1. Tahap Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi spesifikasi fungsional dan non-fungsional sistem yang akan dikembangkan. Kebutuhan fungsional meliputi: (a) kemampuan menampilkan waktu dalam format HH:MM, (b) kemampuan menampilkan pesan sapaan sesuai konteks waktu, (c) kemampuan melakukan transisi animasi *scroll left* antara tampilan jam dan pesan, dan (d) akurasi waktu real-time. Kebutuhan non-fungsional meliputi: (a) responsivitas sistem, (b) keterbacaan tampilan, dan (c) efisiensi konsumsi daya.

2.2.2. Tahap Perancangan Sistem

Perancangan sistem mencakup dua aspek utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

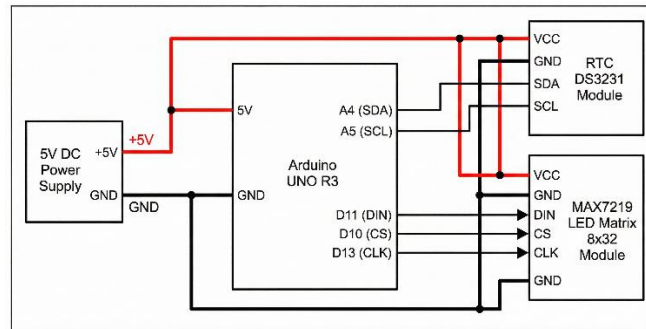
Komponen perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	Arduino UNO	ATmega328P, 16 MHz	Unit pemroses utama
2	RTC DS3231	TCXO, akurasi ± 2 ppm	Modul waktu real-time
3	LED Matrix	8x32 piksel, MAX7219	Media tampilan
4	Power Supply	5V DC, 2A	Catu daya sistem

Skema interkoneksi antar komponen dirancang dengan mempertimbangkan protokol komunikasi yang digunakan. Modul RTC DS3231 terhubung ke Arduino UNO melalui antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*) yang memanfaatkan pin SDA (A4) dan SCL (A5). Sementara itu, LED Matrix dengan driver MAX7219

terhubung melalui antarmuka SPI (*Serial Peripheral Interface*) yang memanfaatkan pin DIN (D11), CS (D10), dan CLK (D13).



Gambar 2. Skema Rangkaian Interkoneksi Komponen

Tabel 2. Konfigurasi Pin Koneksi LED Matrix (MAX7219) ke Arduino UNO

Pin LED Matrix	Pin Arduino UNO	Keterangan
VCC	5V	Catu daya positif
GND	GND	Ground/referensi
DIN	D11	Data input (MOSI)
CS/LOAD	D10	Chip select
CLK	D13	Clock signal

Tabel 3. Konfigurasi Pin Koneksi RTC DS3231 ke Arduino UNO

Pin RTC DS3231	Pin Arduino UNO	Keterangan
VCC	5V	Catu daya positif
GND	GND	Ground/referensi
SDA	A4	Serial data I2C
SCL	A5	Serial clock I2C

Pengembangan perangkat lunak memanfaatkan beberapa library yang tersedia untuk platform Arduino, meliputi:

1. **MD_Parola**: Library untuk mengelola efek animasi teks pada LED matrix, termasuk efek *scrolling*, *sprite*, dan berbagai efek transisi lainnya [13].
2. **MD_MAX72xx**: Library driver untuk mengontrol chip MAX7219 yang mengendalikan LED matrix [13].
3. **RTCLib**: Library untuk komunikasi I2C dengan modul RTC DS3231, memungkinkan pembacaan dan pengaturan waktu real-time.

2.2.3. Tahap Implementasi

Tahap implementasi meliputi proses perakitan komponen perangkat keras sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang, serta penulisan dan pemuatan program ke mikrokontroler Arduino UNO. Proses integrasi modul dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem.

2.2.4. Tahap Pengujian

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *black-box testing* yang berfokus pada validasi fungsionalitas sistem tanpa memperhatikan struktur internal program [14]. Skenario pengujian dirancang untuk memvalidasi: (a) akurasi tampilan waktu, (b) kesesuaian pesan sapaan dengan rentang waktu, (c) kelancaran transisi animasi, dan (d) konsistensi performa sistem dalam jangka waktu tertentu.

2.2.5. Pengacuan Pustaka

Pengacuan pustaka dilakukan dengan menggunakan penomoran sesuai urutan munculnya pustaka tersebut, misal sitasi buku [1], sitasi jurnal ilmiah [2]. Sitasi kepustakaan harus ada dalam Daftar Pustaka dan Daftar Pustaka harus ada sitasinya dalam naskah. Pustaka yang disitasi pertama kali pada naskah, harus ada pada daftar pustaka nomor satu, pustaka yang disitasi kedua yang muncul dalam naskah muncul sebagai daftar pustaka urutan kedua, berikut seterusnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Prototipe sistem jam LED matrix interaktif berhasil diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan. Sistem terdiri dari Arduino UNO sebagai unit pemroses utama, modul RTC DS3231 sebagai sumber waktu real-time, dan LED Matrix 8x32 piksel sebagai media tampilan. Seluruh komponen ditempatkan dalam *enclosure* berbahan plastik untuk memberikan perlindungan dan estetika pada perangkat.



Gambar 3. Tampilan Prototipe Sistem Jam LED Matrix Interaktif

Integrasi perangkat lunak menggunakan library MD_Parola dan MD_MAX72xx memungkinkan implementasi efek animasi *scroll left* yang mulus pada tampilan LED matrix. Library RTCLib digunakan untuk memfasilitasi komunikasi I2C dengan modul DS3231, sehingga pembacaan waktu real-time dapat dilakukan dengan akurat.

3.2. Pengujian Fungsionalitas Tampilan Bergantian

Pengujian utama difokuskan pada validasi fitur tampilan bergantian (*interleaving*) antara waktu dan pesan sapaan. Pengujian dilakukan pada berbagai titik waktu yang mewakili setiap segmentasi waktu yang telah didefinisikan dalam algoritma.

Tabel 5. Hasil Pengujian Fungsionalitas Tampilan Bergantian

No	Waktu Pengujian	Tampilan Waktu	Pesan yang Diharapkan	Pesan yang Ditampilkan	Status
1	04:15	04:15	SELAMAT PAGI	SELAMAT PAGI	Sesuai
2	06:30	06:30	SELAMAT PAGI	SELAMAT PAGI	Sesuai
3	09:45	09:45	SELAMAT PAGI	SELAMAT PAGI	Sesuai
4	10:00	10:00	SELAMAT SIANG	SELAMAT SIANG	Sesuai
5	12:30	12:30	SELAMAT SIANG	SELAMAT SIANG	Sesuai
6	14:55	14:55	SELAMAT SIANG	SELAMAT SIANG	Sesuai
7	15:00	15:00	SELAMAT SORE	SELAMAT SORE	Sesuai
8	16:30	16:30	SELAMAT SORE	SELAMAT SORE	Sesuai
9	17:45	17:45	SELAMAT SORE	SELAMAT SORE	Sesuai
10	18:00	18:00	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai
11	20:30	20:30	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai
12	23:59	23:59	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai
13	00:30	00:30	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai
14	02:15	02:15	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai
15	03:45	03:45	SELAMAT MALAM	SELAMAT MALAM	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5, seluruh skenario pengujian menunjukkan kesesuaian antara pesan yang diharapkan dengan pesan yang ditampilkan oleh sistem. Tingkat akurasi pemecuan pesan mencapai 100% (15 dari 15 pengujian berhasil), yang mengindikasikan bahwa algoritma penjadwalan pesan dinamis berfungsi dengan benar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

3.3. Pengujian Transisi Waktu Kritis

Pengujian tambahan dilakukan pada titik-titik transisi waktu kritis untuk memastikan sistem dapat menangani pergantian segmentasi waktu dengan tepat.

Tabel 6. Hasil Pengujian Transisi Waktu Kritis

No	Waktu Sebelum	Waktu Sesudah	Transisi Pesan	Status
1	03:59	04:00	MALAM → PAGI	Sesuai
2	09:59	10:00	PAGI → SIANG	Sesuai
3	14:59	15:00	SIANG → SORE	Sesuai
4	17:59	18:00	SORE → MALAM	Sesuai

Hasil pengujian transisi waktu kritis menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pergantian pesan sapaan dengan tepat pada titik-titik batas segmentasi waktu. Hal ini mengonfirmasi bahwa logika kondisional dalam algoritma telah diimplementasikan dengan benar.

3.4. Analisis Kinerja Animasi Scrolling

Efek animasi *scroll left* diimplementasikan menggunakan fungsi `displayScroll()` dari library MD_Parola dengan kecepatan animasi yang diatur pada nilai 100 milidetik per pergeseran piksel. Pengaturan ini memberikan keseimbangan antara keterbacaan teks dan dinamika visual yang menarik.

Tabel 7. Parameter Konfigurasi Animasi

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Kecepatan Scroll	100	ms/piksel	Waktu per pergeseran
Intensitas LED	10	(0-15)	Tingkat kecerahan
Jeda Antar Animasi	0	ms	Tanpa jeda
Jumlah Modul	4	unit	LED Matrix 8x8

Library MD_Parola memungkinkan tampilan teks yang melebihi lebar fisik LED matrix (32 piksel) dengan mekanisme *scrolling* [13]. Pesan "SELAMAT PAGI" yang terdiri dari 12 karakter (termasuk spasi) memerlukan lebih dari 32 piksel untuk ditampilkan secara penuh, sehingga efek *scroll* menjadi solusi yang efektif untuk menampilkan pesan tersebut pada matriks dengan lebar terbatas.

Durasi tampilan untuk satu siklus *scrolling* bergantung pada panjang teks dan kecepatan animasi. Dengan konfigurasi yang digunakan, estimasi durasi tampilan dapat dihitung sebagai berikut:

$$Durasi = (Jumlah\ piksel\ teks + Lebar\ display) \times Kecepatan\ scroll \quad (1)$$

Sebagai contoh, untuk teks "SELAMAT PAGI" dengan estimasi lebar 72 piksel (menggunakan font default 6 piksel per karakter):

$$Durasi = (72 + 32) \times 100\ ms = 10.400\ ms \approx 10,4\ detik \quad (2)$$

3.5. Implementasi Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, dapat diidentifikasi beberapa kelebihan dan kekurangan sistem sebagai berikut:

Kelebihan Sistem:

1. Interaktivitas: Sistem mampu memberikan respons yang kontekstual berupa sapaan sesuai waktu, menciptakan pengalaman pengguna yang lebih humanis dibandingkan jam digital konvensional.
2. Akurasi Tinggi: Penggunaan modul RTC DS3231 dengan teknologi TCXO menjamin akurasi waktu yang tinggi dengan deviasi minimal.

3. Tampilan Dinamis: Efek animasi *scroll left* memberikan tampilan yang menarik dan modern, sekaligus memungkinkan tampilan teks yang lebih panjang dari kapasitas fisik display.
4. Modularitas: Arsitektur sistem yang modular memungkinkan pengembangan lebih lanjut, seperti penambahan sensor suhu, konektivitas *wireless*, atau integrasi dengan sistem *smart home* [15].
5. Efisiensi Daya: Konsumsi daya yang relatif rendah memungkinkan sistem dioperasikan secara kontinu tanpa beban biaya listrik yang signifikan.

Kekurangan Sistem:

1. Terjeda Informasi Waktu: Ketika pesan sapaan sedang ditampilkan, informasi waktu tidak tersedia secara real-time. Pengguna harus menunggu hingga siklus tampilan kembali ke mode jam untuk melihat waktu terkini.
2. Durasi Scrolling: Pesan yang panjang memerlukan waktu lebih lama untuk ditampilkan secara penuh, yang dapat mengurangi frekuensi pembaruan informasi waktu.
3. Ketergantungan Baterai RTC: Meskipun modul DS3231 dilengkapi baterai cadangan, baterai tersebut memiliki masa pakai terbatas (2-3 tahun) dan memerlukan penggantian berkala.

Solusi untuk Mengatasi Kekurangan:

1. Pengaturan Kecepatan Scroll Dinamis: Implementasi kecepatan *scrolling* yang dapat disesuaikan berdasarkan panjang teks atau preferensi pengguna dapat mengurangi durasi tampilan pesan.
2. Mode Prioritas Waktu: Penambahan fitur yang memprioritaskan tampilan waktu dengan rasio yang lebih tinggi (misalnya 3:1 antara waktu dan pesan) dapat meningkatkan ketersediaan informasi waktu.

Indikator Visual Tambahan: Penambahan LED indikator terpisah yang menampilkan jam secara statis dapat memberikan informasi waktu kontinu bahkan ketika display utama menampilkan pesan.

3.6. Implementasi Sistem

Tabel 8. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Ini	Handayani [1]	Kurniawan et al. [6]
Display	LED Matrix 8x32	LED Matrix P10	LED Matrix
Fitur Interaktif	Time-Aware Greeting	Bluetooth Control	Jadwal Sholat
Efek Animasi	Scroll Left	Running Text	Running Text
Akurasi RTC	DS3231 (± 2 ppm)	-	RTC Module
Mikrokontroler	Arduino UNO	Arduino	Mikrokontroler

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 8, penelitian ini memiliki keunggulan pada aspek interaktivitas dengan implementasi fitur *Time-Aware Greeting* yang tidak ditemukan pada penelitian terdahulu. Selain itu, penggunaan efek animasi *scroll left* memberikan nilai tambah pada aspek estetika dan kemampuan menampilkan informasi yang lebih panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem jam LED matrix interaktif dengan fitur *Time-Aware Greeting* berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO yang terintegrasi dengan modul RTC DS3231 dan LED Matrix 8x32 piksel berbasis driver MAX7219.
2. Algoritma penjadwalan pesan dinamis berhasil diimplementasikan dengan empat segmentasi waktu (pagi: 04:00-09:59, siang: 10:00-14:59, sore: 15:00-17:59, malam: 18:00-03:59) yang memicu pesan sapaan yang sesuai secara otomatis.
3. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pemicuan pesan sebesar 100% pada seluruh skenario pengujian, termasuk pada titik-titik transisi waktu kritis antar segmentasi.
4. Mekanisme *interleaving* antara tampilan waktu dan pesan berhasil diimplementasikan dengan efek animasi *scroll left* yang mulus menggunakan library MD_Parola.
5. Kelebihan utama sistem adalah kemampuan memberikan interaksi humanis melalui sapaan kontekstual, sedangkan kekurangan utama adalah terjadinya informasi waktu saat pesan ditampilkan, yang dapat diatasi dengan pengaturan kecepatan *scroll* atau penambahan indikator waktu terpisah.

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan perangkat *information display* yang lebih komunikatif dan berorientasi pada interaksi manusia-komputer. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup integrasi sensor cahaya untuk penyesuaian kecerahan otomatis, konektivitas IoT untuk sinkronisasi waktu melalui NTP (*Network Time Protocol*), serta penambahan fitur kustomisasi pesan oleh pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. S. Handayani and E. Suryana, "Papan Informasi Digital Berbasis Arduino dan Android di Laboratorium Hardware Universitas Dehasen Bengkulu," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mencu Buana*, pp. 10–15, 2018.
- [2] E. C. Nugroho, E. Widarti, N. A. Pujisusilo, and B. A. Catur, "Pengembangan Digital Signage sebagai Papan Informasi Digital Studi Kasus: STMIK AUB Surakarta," *Go Infotech J. Ilm. STMIK AUB*, vol. 27, no. 1, p. 33, Aug. 2021, doi: 10.36309/goi.v27i1.142.
- [3] E. Azrofata, Mardiana, and M. A.M.Djausal, "purwarupa running text6 tampilan informasi LED matrix berbasis Arduino dan Android di perpustakaan Unila," *Semin. Nas. Sains Teknol. V*, no. November, pp. 492–505, 2015.
- [4] E. Retnoningsih and A. N. Alfian, "Human Computer Interaction Pengelolaan Open Journal Systems berbasis Interaction Framework," *BINA Insa. ICT J.*, vol. 7, no. 1, p. 95, Jun. 2020, doi: 10.51211/biict.v7i1.1338.
- [5] A. Dix, J. Finlay, G. D. Abowd, and R. Beale, *Human-Computer Interaction Ch. 9 Evaluation Techniques*. 2015. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=l_e1MmVzMb0C&lpg=PR4&hl=id&pg=PR4#v=onepage&q&f=false
- [6] I. H. Kurniawan, L. Hayat, and A. Fauzan, "Implementasi Teknologi Jadwal Waktu Sholat dan Media Informasi Digital Berbasis Mikrokontroler di Wilayah Pimpinan Ranting Muhammadiyah Klahang, Kecamatan Sokaraja, Kabupaten Banyumas," *J. Pengabd. Tek. dan Sains*, vol. 5, no. 1, p. 25, Jan. 2025, doi: 10.30595/jpts.v5i1.24871.
- [7] S. S. Saliterman, "MAX7219 LED Matrix Display Arduino Tutorial (4 Examples)," University of Minnesota. Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: https://saliterman.umn.edu/sites/saliterman.umn.edu/files/files/general/max7219_led_matrix_display_arduino_tutorial_4_examples.pdf
- [8] Last Minute Engineers, "In-Depth: Interfacing MAX7219 LED Dot Matrix Display with Arduino," Last Minute Engineers. [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/max7219-dot-matrix-arduino-tutorial/>
- [9] Maxim Integrated, "DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal Datasheet," San Jose, CA, 2015. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf>
- [10] P. V. C. Sanap, "Design and Implementation of Real Time Clock using RTC DS3231 and Arduino Uno," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 1545–1551, Feb. 2025, doi: 10.22214/ijraset.2025.67162.
- [11] S. Sumarni, "Penerapan Strategi dalam Isu Penelitian dan Pengembangan," *J. Penelit. dan Pengemb.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–33, 2019.
- [12] S. Nurwahyuni *et al.*, "Sistem Informasi Pemasaran Property," *Rekursif J. Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 19–28, 2019, doi: 10.33369/rekursif.v9i1.15772.
- [13] MagicDesigns, "MD_Parola Library for Modular Scrolling LED Matrix Text Displays," 2024, *GitHub*. [Online]. Available: https://github.com/MajicDesigns/MD_Parola
- [14] A. E. Prasetyanto and C. P. Hadisusila, "Aplikasi Arduino dalam Teknik I/O untuk Mengintegrasikan dan Mengendalikan Perangkat Elektronik," *Nusant. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 96–102, Oct. 2023, doi: 10.29407/noe.v6i2.21308.
- [15] D. A. Karim and N. Anwar, "Smart Home Berbasis Iot Menggunakan Arduino Uno Dan Suara Pada Google Assistant," *IKRA-ITH Inform. J. Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 3, pp. 47–53, 2023, doi: 10.37817/ikraith-informatika.v7i3.3056.