

## Tren terkini dalam teknologi mikrokontroler

**Amaliyah Az-Zukhruf**

Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

e-mail: amaliyah.zukhruf@gmail.com

**Kata Kunci:**

mikrokontroler; teknologi; aplikasi; penelitian; periferal

**Keywords:**

microcontroller; technology; applications; research; peripherals

### ABSTRAK

Teknologi mikrokontroler telah menjadi bagian penting dalam berbagai aplikasi elektronik karena kemampuannya untuk mengintegrasikan unit pemrosesan, memori, dan periferal dalam satu chip. Penelitian terbaru berfokus pada memenuhi tuntutan kompleksitas dan efisiensi yang berkembang dalam sistem elektronik, terutama di bidang seperti Internet of Things (IoT), kontrol otomatis, dan perangkat medis. Makalah ini memberikan gambaran tentang teknologi mikrokontroler, termasuk definisi, fungsionalitas, dan jenis-jenisnya seperti mikrokontroler AVR, PIC, MCS 51, dan ARM. Kelebihan, kelemahan, dan aplikasi penelitian terbaru dari masing-masing jenis dibahas. Meskipun popularitas mikrokontroler ARM, jenis lain seperti AVR, PIC, dan MCS 51 masih digunakan dalam berbagai aplikasi. Pemilihan mikrokontroler bergantung pada faktor seperti persyaratan proyek, ketersediaan sumber daya, dan pertimbangan biaya. Secara keseluruhan, teknologi mikrokontroler terus berkembang untuk memenuhi tuntutan sistem elektronik modern.

### ABSTRACT

Microcontroller technology has become integral in various electronic applications due to its ability to integrate processing units, memory, and peripherals on a single chip. Recent research focuses on addressing the growing complexity and efficiency demands in electronic systems, particularly in areas like the Internet of Things (IoT), automated control, and medical devices. This paper provides an overview of microcontroller technology, including its definition, functionality, and types such as AVR, PIC, MCS 51, and ARM microcontrollers. Each type's strengths, weaknesses, and recent research applications are discussed. Despite the popularity of ARM microcontrollers, other types like AVR, PIC, and MCS 51 still find use in diverse applications. The choice of microcontroller depends on factors such as project requirements, resource availability, and cost considerations. Overall, microcontroller technology continues to evolve to meet the demands of modern electronic systems.

## Pendahuluan

Teknologi mikrokontroler mengacu pada penggunaan perangkat elektronik terintegrasi yang menggabungkan unit pemrosesan, memori dan fitur perifer pada satu chip kecil. Mikrokontroler dirancang khusus untuk mengontrol dan memproses data dalam berbagai aplikasi elektronik, mulai dari peralatan rumah tangga hingga sistem industri yang kompleks.

Penelitian terbaru dalam teknologi mikrokontroler adalah upaya untuk menanggapi tuntutan pengembangan sistem elektronik yang semakin kompleks dan



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](#) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

efisien. Mikrokontroler memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, seperti Internet of Things (IoT) (Syaifudin et al., n.d.), kontrol otomatis, perangkat medis (Muthmainnah et al., 2023), dan banyak lagi.

Namun, dengan perkembangan teknologi yang cepat, ada tantangan baru yang harus diatasi. Salah satu tantangan utama adalah meningkatkan kinerja mikrokontroler dengan mengoptimalkan pemrosesan data, konektivitas, dan efisiensi daya. Penelitian terbaru dalam teknologi mikrokontroler bertujuan untuk mengembangkan solusi inovatif yang dapat memenuhi persyaratan aplikasi yang semakin kompleks dan memberikan kinerja optimal.

## Pembahasan

### Definisi Teknologi Mikrokontroler

Microcontroller adalah chip kecil yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti CPU, memori, dan input / output peripheral. CPU pada microcontroller dapat melakukan operasi pemrosesan data dan instruksi yang diperlukan untuk mengontrol perangkat elektronik yang terhubung dengannya. Memori pada microcontroller digunakan untuk menyimpan program dan data yang diperlukan untuk melakukan fungsi mikrokontroller. Ada tiga jenis memori pada mikrokontroler: RAM, ROM, dan EEPROM. RAM digunakan untuk menyimpan data sementara, ROM digunakan untuk penyimpanan program dan data yang tidak dapat diubah oleh pengguna, dan EEPROM digunakan untuk menghemat data yang bisa diubah pengguna.

Peripheral input/output pada microcontroller terdiri dari berbagai jenis port dan pin yang dapat digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler dengan berbagai jenis sensor dan aktuator. Port dan pin ini dapat digunakan untuk membaca input dari sensor dan output ke aktuator. Beberapa contoh peripheral input/output yang sering digunakan pada mikrokontroler adalah port serial, port paralel, dan ADC. (Analog-to-Digital Converter).

Mikrokontroler dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman seperti C, C++, atau Assembly. Pemrograman mikrokontroler dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak khusus yang disediakan oleh vendor microcontroller atau dengan menggunakan software open-source seperti Arduino IDE. Pemrograman mikrokontroler harus dilakukan dengan hati-hati dan teliti karena kesalahan kecil dalam program dapat menyebabkan kesalahan dalam operasi microcontroller.

Mikrokontroler digunakan dalam berbagai aplikasi seperti peralatan rumah tangga, kendaraan, sistem kontrol industri, dan perangkat medis karena ukuran kecil mereka, konsumsi daya rendah, dan kemampuan untuk mengontrol perangkat elektronik dengan cepat dan akurat. Selain itu, mikrokontroler relatif terjangkau, sehingga dapat diterapkan pada berbagai jenis sistem elektronik.

### Fungsi Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah komponen penting dalam teknologi mikrokontroler yang memiliki berbagai fungsi dalam tren penelitian terbaru. Berikut adalah beberapa fungsi utama mikrokontroler dalam penelitian tren terbaru dalam teknologi microcontroller:

## 1. Pemrosesan Data

Mikrokontroler memiliki kemampuan pengolahan data yang terbatas, tetapi cukup untuk melakukan tugas-tugas sederhana. Dalam tren penelitian terbaru, mikrokontroler dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari berbagai sensor dan menganalisisnya secara real-time. Misalnya, mikrokontroler dapat digunakan untuk mengambil data suhu dari beberapa sensor dan memberikan respons seperti mengaktifkan sistem pendinginan jika suhu melebihi ambang batas tertentu (Valvano, 2014).

## 2. Kontrol Algoritma

Mikrokontroler dapat digunakan untuk menjalankan algoritma kontrol yang kompleks. Dalam tren penelitian terbaru, mikrokontroler dapat digunakan untuk menerapkan algoritma kontrol adaptif, kecerdasan buatan, atau pembelajaran mesin pada perangkat fisik. Contohnya adalah penggunaan mikrokontroler untuk mengontrol robot yang menggunakan penglihatan komputer untuk mengenali objek dan membuat keputusan berdasarkan informasi tersebut (Koch, 2020).

## 3. Hardware Control

Mikrokontroler digunakan untuk mengontrol perangkat keras dalam sistem yang terhubung dengannya. Dalam tren penelitian terbaru, mikrokontroler dapat digunakan untuk mengontrol berbagai perangkat elektronik seperti sensor, aktuator, motor, lampu, dan banyak lagi. Misalnya, dalam proyek Internet of Things (IoT), mikrokontroler dapat mengontrol dan memantau suhu, kelembaban, atau sensor gerakan, dan mengirimkan data ke awan untuk analisis (Boudjema et al., 2018).

## 4. Komunikasi

Mikrokontroler dapat digunakan untuk mengelola komunikasi antara berbagai perangkat dalam sistem. Dalam tren penelitian terbaru, mikrokontroler dapat digunakan untuk menghubungkan sistem ke jaringan nirkabel seperti Wi-Fi, Bluetooth, atau LoRa (Long Range) untuk mentransfer data tanpa wayarel. Ini memungkinkan data dikirim ke platform cloud atau aplikasi seluler untuk analisis lebih lanjut. Mikrokontroler dapat berkomunikasi dengan perangkat lain melalui protokol seperti SPI (Serial Peripheral Interface) atau I<sub>2</sub>C (Inter-Integrated Circuit) (Nayak et al., 2017).

## Jenis Mikrokontroler

Ada banyak jenis mikrokontroler yang tersedia di pasaran. Jumlah jenis mikrokontroler terus bertambah seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan aplikasi yang semakin kompleks. Berikut ini beberapa jenis mikrokontroler yang umum ditemui:

### **Mikrokontroler AVR**

Mikrokontroler AVR adalah keluarga mikrokontroler yang dikembangkan oleh perusahaan Atmel Corporation (sekarang bagian dari Microchip Technology). Mikrokontroler AVR memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan yang perlu diperhatikan ketika memilih platform untuk proyek tertentu. Berikut penjelasan kelebihan dan kekurangan Mikrokontroler AVR (Mohammad et al., 2011):

**Kelebihan:**

1. Riset Komunitas yang Kuat: AVR memiliki basis pengguna yang kuat dan komunitas yang aktif, yang mana berarti ada banyak dokumentasi, tutorial, dan dukungan yang tersedia.
2. Efisiensi Daya Rendah: AVR dikembangkan dengan mempertimbangkan efisiensi daya rendah, sehingga cocok untuk aplikasi baterai portabel dan aplikasi yang memerlukan konsumsi daya rendah.
3. Arsitektur RISC Sederhana: AVR menggunakan arsitektur RISC (Reduksi Instruksi Set Komputer) sederhana, sehingga mudah diprogram dan memiliki kecepatan eksekusi instruksi yang tinggi.

**Kekurangan:**

1. Kurangnya Kecepatan dan Kapasitas Memori: Beberapa model AVR memiliki kecepatan CPU yang terbatas dan terbatas kapasitas memori dibandingkan dengan beberapa mikrokontroler lain di pasaran.
2. Periferal Terintegrasi Terbatas: Beberapa mikrokontroler AVR memiliki periferal terbatas, Kekuatan: - Kontrol Perangkat Keras: memerlukan penggunaan komponen eksternal untuk fitur tambahan tertentu.

Mikrokontroler AVR telah digunakan dalam berbagai macam aplikasi, seperti sistem kendali industri, peralatan medis, peralatan rumah tangga, peralatan audio, dan peralatan komunikasi. Misalnya, mikrokontroler AVR digunakan di Arduino, platform sumber terbuka yang populer untuk pengembangan prototipe dan proyek elektronik (Barrett & Pack, 2012).

Salah satu tren terkini dalam penggunaan mikrokontroler AVR adalah dalam Studi dan Analisis Sistem Akuaponik Otomatis. Tujuan utamanya adalah untuk mempelajari sistem akuaponik yang akan menggunakan air secara efisien dan menganalisis metode pemantauan dan pengendalian terkait parameter kualitas air. Makalah ini berfokus pada studi dan analisis berbagai teknik untuk meningkatkan efisiensi sistem akuaponik melalui teknik otomatisasi berbasis IoT. Mikrokontroler AVR terhubung ke sistem aquaponik melalui IoT untuk mendapatkan pembacaan guna memantau parameter sistem dari jarak jauh. Dengan proses otomatisasi ini, menjaga lingkungan yang optimal bagi tanaman dan ikan menjadi lebih mudah. Hasilnya mengungkapkan metode yang digunakan untuk menyeimbangkan kondisi kualitas air dan bagaimana otomatisasi meningkatkan efisiensi sistem (Sathyan et al., 2022).

**Mikrokontroler PIC**

Mikrokontroler PIC (Peripheral Interface Controller) adalah keluarga mikrokontroler yang dikembangkan oleh Microchip Technology. Mereka banyak digunakan karena kesederhanaan, keterjangkauan, dan beragam pilihan periferal. Berikut kelebihan dan kekurangan mikrokontroler PIC (Wilmshurst, 2010):

**Kelebihan:**

1. Beragam Model dan Pilihan: PIC memiliki beragam model dan pilihan mikrokontroler untuk disesuaikan dengan berbagai aplikasi, dari yang sederhana hingga yang kompleks.
2. Periferal Terintegrasi yang Luas: PIC menawarkan berbagai periferal terintegrasi, seperti ADC (Analog-to-Digital Converter), UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), dan PWM (Pulse-Width Modulation), yang membuatnya mudah untuk dikembangkan aplikasi yang beragam.
3. Pengembangan Perangkat Lunak Mudah: PIC dilengkapi dengan perangkat lunak pengembangan (MPLAB IDE) yang mudah digunakan dan memiliki dukungan yang baik.

**Kekurangan:**

1. Arsitektur perlu diperbarui: Beberapa model PIC menggunakan arsitektur 8-bit yang lebih lama kurang efisien dan cepat dibandingkan arsitektur 32-bit yang lebih modern.
2. Keterbatasan Memori: Beberapa model PIC memiliki keterbatasan pada kapasitas memori program dan data, yang dapat menjadi batasan dalam mengembangkan aplikasi yang lebih kompleks.

Mikrokontroler PIC telah digunakan dalam berbagai macam aplikasi, termasuk sistem kontrol industri, peralatan medis, peralatan rumah tangga, otomotif, dan peralatan konsumen. Misalnya, mikrokontroler PIC sering digunakan dalam sistem keamanan rumah, sistem kontrol otomatis, perangkat pengukuran dan pemantauan, serta perangkat elektronik portabel (Valvano, 2014).

Mikrokontroler PIC jenis ini jarang digunakan dalam penelitian. Penelitian terbaru pada tahun 2021 dengan judul Merancang dan Memodelkan Kursi Roda Berpengendali Suara yang Dikombinasikan dengan Home Automation. Penelitian ini menggunakan sistem embedded, membahas tentang pembuatan kursi roda dan peralatan rumah tangga dengan pengontrol suara. Metode yang disarankan menyediakan sistem aktivasi suara untuk orang dengan gangguan berat, termasuk pengoperasian saklar manual. Untuk mendukung otomatisasi kursi roda dan rumah, Mikrokontroler PIC (16F877A) dan prosesor pengenalan suara (HM2007) digunakan. Teknologi ini menggabungkan kontrol kursi roda yang diaktifkan melalui suara dengan otomatisasi rumah, memastikan keandalan, keamanan, dan kenyamanan (Muhidin, 2021).

**Mikrokontroler MCS 51**

MCS 51 (Microcontroller Series 51) adalah keluarga mikrokontroler yang dikembangkan oleh Intel Corporation pada tahun 1980an. Keluarga mikrokontroler ini mencakup mikrokontroler 8-bit dengan arsitektur CISC (Complex Instruction Set Computer). Salah satu mikrokontroler yang termasuk dalam keluarga ini adalah 8051. Berikut kelebihan dan kekurangan mikrokontroler MCS 51(Schneider et al., 2020):

**Kelebihan:**

1. Populer dan Terkenal : Mikrokontroler MCS 51 khususnya 8051 telah menjadi salah satu mikrokontroler terpopuler dan terkenal di dunia. Hal ini menghasilkan sejumlah besar literatur, tutorial, dan dukungan yang tersedia.
2. Kompatibilitas Luas: Mikrokontroler MCS 51 memiliki kompatibilitas yang luas dengan berbagai macam perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga mudah untuk dikembangkan dan diintegrasikan dengan sistem yang ada.
3. Ketersediaan Periferal Melimpah: Mikrokontroler MCS 51 dilengkapi dengan berbagai periferal terintegrasi seperti ADC, UART, Timer, dan GPIO, sehingga memudahkan pengembangan beragam aplikasi.

**Kekurangan:**

1. Arsitektur Kuno: Mikrokontroler MCS 51 menggunakan arsitektur CISC yang lebih tua, yang memiliki kompleksitas instruksi yang tinggi dan kecepatan eksekusi instruksi yang relatif rendah dibandingkan dengan arsitektur RISC yang lebih modern.
2. Keterbatasan Memori: Beberapa mikrokontroler MCS 51 memiliki batasan kapasitas memori program dan data yang dapat menjadi kendala dalam pengembangan aplikasi yang kompleks.

Mikrokontroler MCS 51 telah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem kendali industri, sistem keamanan, peralatan rumah tangga, sistem kendali otomatis, dan peralatan medis (Valvano, 2014).

Salah satu penelitian terbaru mengenai mikrokontroler tipe MCS 51 pada tahun 2022 dengan judul Pemodelan Sistem Manajemen Area Parkir Berbasis Komputer. Sistem ini diciptakan untuk mengatasi permasalahan parkir khususnya di pusat perbelanjaan. Pemodelan didasarkan pada Mikrokontroler ATMEL MCS-51. Ia bekerja dengan menghitung jumlah mobil yang memasuki tempat parkir. Sistem akan mencari tempat pada area parkir. Setelah konsumen mendapatkan informasi yang benar mengenai lokasi tempat parkir mobilnya, maka tiket parkir akan tercetak secara otomatis. Terakhir, komputer akan menghitung dan mencetak biaya parkir sebelum mobil meninggalkan area parkir. Manfaat dari sistem ini antara lain mengetahui lokasi parkir yang masih kosong, mengetahui jumlah mobil di area parkir, dan memberikan kemudahan bagi operator parkir yang bertugas di gerbang masuk dan keluar karena biaya parkir dihitung dan tiket dicetak. secara otomatis, mampu menyimpan data parkir dalam sebuah file. Sehingga tingkat kebocoran uang parkir dapat diminimalisir, dan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pengguna parkir, karena yang sudah memasuki area parkir akan mendapatkan tempat parkir (Prasetyo et al., 2022).

**Mikrokontroler ARM**

Mikrokontroler ARM (Advanced RISC Machines) merupakan keluarga mikrokontroler dengan arsitektur RISC yang dikembangkan oleh ARM Holdings. Mikrokontroler ARM terkenal dengan kinerjanya yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, dan fleksibilitas. Berikut kelebihan dan kekurangan mikrokontroler ARM (林伸行, 2017).

**Kelebihan:**

1. Kinerja tinggi: mikrokontroler ARM memiliki kemampuan pemrosesan yang cepat dan efisien serta kemampuan untuk menangani aplikasi kompleks.
2. Konsumsi daya rendah: desain arsitektur RICS yang efisien memungkinkan mikrokontroler ARM mencapai konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok untuk aplikasi baterai seluler.
3. Skalabilitas: keluarga mikrokontroler ARM menawarkan berbagai varian dengan fitur dan kemampuan berbeda, memungkinkan pengembang memilih salah satu yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi mereka.

**Kekurangan:**

1. Kompleksitas Pengembangan: Pengembangan perangkat lunak untuk mikrokontroler ARM mungkin lebih kompleks dibandingkan mikrokontroler lainnya, karena kebutuhan akan perangkat lunak dan alat pengembangan yang canggih.
2. Biaya Lebih Tinggi: Mikrokontroler ARM cenderung memiliki label harga yang lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler dengan arsitektur yang lebih sederhana.

Mikrokontroler ARM digunakan dalam berbagai macam aplikasi, termasuk komunikasi nirkabel, perangkat medis, sistem kontrol industri, otomotif, perangkat pintar, dan Internet of Things (IoT) (Kim et al., 2021).

Penelitian terbaru menggunakan mikrokontroler ARM pada tahun 2022 dengan judul Perancangan, Analisis, dan Implementasi Sistem Fotovoltaik Berantarmuka Elektronik Menggunakan Mikrokontroler ARM Cortex-M4. Artikel penelitian ini menyajikan dokumentasi rinci mengenai pengembangan test-bench sistem Grid Interfaced Solar Photovoltaic (GIPV). Sistem GIPV yang diusulkan dikembangkan menggunakan Konverter Sumber Tegangan (VSC) dan konverter boost DC-DC. Bangku tes GIPV dikembangkan menggunakan berbagai rangkaian tambahan termasuk rangkaian pengukur tegangan/arus, rangkaian pengkondisian sinyal, rangkaian pergeseran fasa, rangkaian pembangkit pulsa komplementer, dan rangkaian driver, dll. Sirkuit tambahan ini dirancang dalam perangkat lunak papan sirkuit cetak ekspres dan dibuat di laboratorium untuk mengembangkan bangku uji sistem GIPV yang lengkap. Kombinasi skema Kerangka Referensi Sinkron (SRF) yang dimodifikasi dan pengontrol Resonansi Proporsional (PR) diusulkan untuk pembangkitan referensi saat ini. SRF-Phase Locked Loop (SRF-PLL) berbasis amplitudo-adaptif dihadirkan untuk mendeteksi secara tepat sudut fasa tegangan jaringan dalam kondisi terdistorsi dan tidak seimbang.

Prototipe ini diimplementasikan menggunakan berbasis ARM Cortex-M4 yang murah secara komersial Mikrokontroler STM32F407VGT6. Mikrokontroler ini memiliki berbagai periferal untuk pengaturan target yang fleksibel dengan kemampuan komputasi yang lebih cepat dan antarmuka pengguna yang canggih yang menampilkan konektivitas TCP/IP. Struktur kontrol dikembangkan dalam lingkungan menunggu untuk pembuatan kode otomatis. Efektivitas algoritma kontrol yang diusulkan diuji dengan simulasi numerik di MATLAB/Simulink. Terakhir, kepraktisan GIPV yang diusulkan sistem didemonstrasikan secara eksperimental menggunakan mikrokontroler berbasis ARM dalam berbagai kondisi operasi (Kumar et al., 2022).

## Kesimpulan dan Saran

Mikrokontroler merupakan sebuah chip kecil yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti CPU, memori, dan periferal input/output. Periferal input/output pada mikrokontroler terdiri dari berbagai jenis port dan pin yang dapat digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler dengan berbagai jenis sensor dan actuator.

Mikrokontroler berfungsi sebagai otak cerdas dalam sistem terprogram yang mengontrol pengoperasian dan perilaku perangkat elektronik. Dengan kemampuan pemrosesan dan penyimpanan data yang terintegrasi, mikrokontroler dapat mengambil keputusan berdasarkan instruksi program, memantau kondisi lingkungan melalui sensor, aktuator kontrol, dan perangkat keluaran, serta menyediakan antarmuka komunikasi dengan perangkat lain. Fungsinya yang serbaguna menjadikan mikrokontroler sebagai komponen penting dalam aplikasi yang berkaitan dengan pengendalian sistem, otomasi, pengukuran, pemantauan, dan berbagai sistem pintar yang memerlukan kemampuan pengendalian yang presisi dan adaptif.

Ada banyak jenis mikrokontroler yang tersedia di pasaran. Jumlah jenis mikrokontroler terus bertambah seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan aplikasi yang semakin kompleks. Namun, mikrokontroler AVR, PIC, MCS-51, dan ARM adalah beberapa jenis mikrokontroler yang umum. Di antara mikrokontroler AVR, PIC, MCS 51 (sering juga disebut 8051), dan ARM, mikrokontroler ARM adalah yang paling populer dan banyak digunakan saat ini.

Namun, meskipun mikrokontroler ARM saat ini sangat populer, mikrokontroler AVR, PIC, dan MCS 51 (8051) masih memiliki tempat di pasaran dan terus digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Mikrokontroler AVR terkenal dengan keandalannya dan digunakan secara luas dalam proyek Arduino. Mikrokontroler PIC juga tetap populer di industri dengan dukungan periferal yang lengkap. Sedangkan mikrokontroler MCS 51 (8051) masih banyak digunakan pada aplikasi yang lebih terspesialisasi dan lawas.

Pemilihan mikrokontroler yang paling tepat untuk digunakan bergantung pada kebutuhan spesifik suatu proyek. Termasuk ketersediaan sumber daya, fitur yang diperlukan, lingkungan pengembangan, dan pertimbangan biaya.

Dengan pemahaman mendalam mengenai tren terkini teknologi mikrokontroler, serta upaya penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, diharapkan dapat terwujud inovasi yang lebih baik di bidang tersebut. Tren ini akan terus berkembang seiring dengan berkembangnya teknologi secara keseluruhan dan menjadi landasan bagi perkembangan sistem elektronik yang lebih canggih dan efisien di masa depan.

## Daftar Pustaka

- Barrett, S. F., & Pack, D. J. (2012). Atmel AVR microcontroller primer: Programming and interfacing, second edition. *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*.  
<https://doi.org/10.2200/S00427ED1V01Y201206DCS039>
- Boudjema, E. H., Faure, C., Sassolas, M., Mokdad, L., Chen, Z. Z., Tao, C., Zhang, Z., Yang, Z. Z., Grieve, A., Davies, M., Jones, P. H., Zambreno, J., Kinsky, M. A., Kava, D., Ehret, A., Mark, M., Kroes, T., Koning, K., van der Kouwe, E., & Haslreiter, E. (2018).

- Evaluation of static analysis tools for finding vulnerabilities in java and C / C ++ source code university of ontario institute of technology 3 Java source code analyzers. *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*.
- Kim, H., Sim, M., Jang, K., Kwon, H., Uhm, S., & Seo, H. (2021). Masked implementation of format preserving encryption on low-end avr microcontrollers and high-end arm processors. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math9111294>
- Koch, G. (2020). *The LEGO Arduino Cookbook: Expanding the realm of MINDSTORMS EV3 invention*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6303-7>
- Kumar, A., Patel, N., Gupta, N., & Gupta, V. (2022). Design, analysis and implementation of electronically interfaced photovoltaic system using ARM Cortex-M4 microcontroller. *Computers and Electrical Engineering*.  
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107701>
- Mohammad, A. L., Sarmad, N., & Sepehr, N. (2011). AVR microcontroller and Embedded Systems using Assembly and C. In *pearson Education, Inc publishing as prince Hall*.
- Muhidin, L. (2021). Merancang dan memodelkan kursi roda yang dikendalikan suara yang digabungkan dengan otomatisasi rumah. *FIDELITY : Jurnal Teknik Elektro*.  
<https://doi.org/10.52005/fidelity.v3i3.99>
- Muthmainnah, Arabani, F. Z., Tazi, I., Chamidah, N., Sasmitaninghidayah, W., & Tirono, M. (2023). Development of optical sensor technology for non-invasive hemoglobin measurement. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 10252–10258.  
<https://doi.org/10.29303/JPPIPA.V9I11.5610>
- Muthmainnah, M., Syaifudin, A., & Chamidah, N. (2023). Prototipe alat monitoring suhu dan kelembaban pada rumah penyimpan tembakau berbasis Internet of Thing (IoT). *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(1). <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i1.853>
- Nayak, A. S., Umadevi, F. M., & Preeti, T. (2017). An approach for attainment of relevant program outcomes through microcontroller laboratory course. *Journal of Engineering Education Transformations*.
- Prasetiyo, H. J., Hartono, F. B., & Wuryandari, A. (2022). Model sistem parkir dengan mikrokontroler: a microcontroler based parking system model. *JE-UNISLA*.  
<https://doi.org/10.30736/je-unisla.v7i2.888>
- Sathyan, A., Muthukumaraswamy, S. A., & Rahman, H. (2022). On the study and analysis of automated aquaponics system using AVR microcontroller. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6482-3\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6482-3_51)
- Schneider, M., Hill, C., Eisenberg, A., Gross, M., & Blum, A. (2020). A Software debugger for e-textiles and arduino microcontrollers. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3386201.3386222>
- Valvano, J. W. (2014). *Embedded systems*. Eigenverlag des Verfassers.
- Wilmshurst, T. (2010). Designing embedded systems with PIC microcontrollers. In *Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers*.  
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-06386-7>
- Yiu, Joseph. (2017). *The definitive guide to ARM cortex m3 and cortex-m4 processors*. Cambridge: ARM Ltd