

Paper

Penentuan Microcontroller Unit (MCU) Terbaik berdasarkan Pembobotan Objektif

Author: Andre Hasudungan Lubis, Solly Aryza, Sutrisno



SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INFORMASI & KOMUNIKASI
SNASTIKOM KE - 9 TAHUN 2022

Tema : Peran Teknologi dalam Pengembangan Smart System

Penentuan *Microcontroller Unit* (MCU) Terbaik berdasarkan Pembobotan Objektif

Andre Hasudungan Lubis^{1*}, Solly Aryza², Sutrisno³

^{1,3}Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

²Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan Indonesia

^{1*}andrelubis2201@gmail.com, ²sollyaryzalubis@gmail.com², ³sutrisno.uma@gmail.com

Abstrak

Dewasa ini, *Microcontroller Unit* (MCU) adalah komponen penting pada perkembangan teknologi. MCU berperan sebagai penerima data masukan, mengolahnya, dan menyajikan data keluaran sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Terdapat banyaknya jenis dari MCU mengakibatkan diperlukannya suatu model keputusan yang optimal dalam memilih yang terbaik yang ada di pasaran. Metode WASPAS diterapkan untuk membantu dalam menentukan MCU terbaik, dengan menggunakan pembobotan kriteria secara objektif yaitu metode CRITIC. Kriteria yang digunakan adalah set instruksi, arsitektur memori, jumlah pin dari I/O, konsumsi daya yang dibutuhkan, harga, jumlah ukuran RAM, dan kecepatan pemrosesan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ESP32 adalah yang terbaik diantara MCU lainnya. Penelitian ini memberikan rekomendasi kepada calon pembeli atau pengguna dalam menentukan MCU yang terbaik.

Kata Kunci: *Microcontroller Unit, Multiple Criteria Decision Making, Pembobotan Objektif, WASPAS, CRITIC*

Abstract

A Microcontroller Unit (MCU) plays an important role in technology developments. It used as the data input receiver, processing, and presenting data output tallied to the program built. Various MCUs are provided in market with numerous types and architectures of them. Hence, a decision model is necessity to aid the select the best between MCUs. The WASPAS Method was employed along with the CRITIC method as the objective weighting for the criteria. The criteria used are the instruction set, memory architecture, total of I/O pins, power consumption, price, RAM size, and processing speed. The result pointed out that ESP32 selected as the best MCU between the others. This study provides recommendations to prospective buyers or users to decide the best MCU.

Keywords: *Microcontroller Unit, Multiple Criteria Decision Making, Objective Weighting, WASPAS, CRITIC*

1. PENDAHULUAN

Microcontroller Unit (MCU) merupakan bagian dari perangkat keras cerdas berupa sirkuit terpadu tunggal (*Integrated Circuit/IC*) yang dapat dikontrol dengan pemrograman yang berisi prosesor, unit memori, dan unit input/output yang dapat diprogram [1]. Pada dasarnya, setiap perangkat yang memiliki interaksi dan komunikasi dengan pengguna bekerja dengan MCU, dimana banyak mendukung perangkat seperti RAM, ROM, timer, counter, I/O (*input/output*) periferal dipasang dalam satu sirkuit terintegrasi [2]. MCU sendiri telah banyak digunakan diberbagai tujuan, seperti pada peralatan kelistrikan, sistem kontrol mesin mobil, peralatan medis, perangkat industri dan sebagainya [3]–[5]. MCU tertanam di dalam sistem untuk mengatur fungsi tunggal dalam perangkat, yaitu dengan menafsirkan data yang diterima dari I/O menggunakan prosesor pusatnya. Proses kerja MCU dimulai dengan menyimpan data sementara dalam memori datanya. Setelah itu, prosesor dapat mengakses data tersebut dan menggunakan instruksi yang tersimpan dalam memori programnya untuk mengubahnya menjadi bahasa normal dan menerapkan data yang masuk. Kemudian menggunakan periferal I/O untuk berkomunikasi dan menerapkan tindakan yang sesuai [6].

Dewasa ini, terdapat banyak jenis MCU yang digunakan untuk tujuan yang berbeda dan memiliki arsitektur yang berbeda pula. Disamping itu, banyak MCU yang diperdagangkan dengan berbagai merk dan fitur-fitur yang berbeda. Dengan kata lain, pemilihan MCU itu sendiri harus di dasarkan pada pengaplikasiannya yang sesuai [7]. Menurut Parai dkk. [8] dan D'Souza dkk. [9], terdapat 7 kriteria penting dalam memilih MCU yang tepat, yaitu set instruksi, arsitektur memori, jumlah pin dari I/O, konsumsi daya yang dibutuhkan, harga, jumlah ukuran RAM, dan kecepatan pemrosesan. Banyaknya jenis MCU yang beredar di pasaran menyebabkan setiap pembeli harus lebih detail dalam pemilihannya. Dimana, MCU tersebut memiliki banyak kriteria-kriteria yang bervariasi yang menjadi pertimbangan untuk dipilih. Sehingga, dibutuhkan suatu model untuk menentukan MCU terbaik yang berada di pasaran.

Pengambilan Keputusan Beberapa Kriteria atau *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan suatu alternatif dengan banyak kriteria. Dengan menggunakan metode

MCDM, suatu individu/organisasi dapat terbantu dalam memilih alternatif terbaik berdasarkan kriteria-kriteria yang dimiliki [10]. Sebagai salah satu metode MCDM yang terbaru, metode *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS) merupakan metode yang cukup kuat dalam memberikan keputusan. Metode WASPAS sudah cukup banyak digunakan di berbagai penelitian, seperti untuk menganalisis proses mesin, pemilihan material atau bahan yang terbaik, dan bahkan diaplikasikan untuk pemilihan yang berobjek manusia seperti pegawai atau karyawan terbaik [11], [12]. Metode ini pertama kali muncul pada tahun 2012 oleh Zavadskas dkk. [11] dengan menggabungkan teknik WPM (*Weighted Product Model*) dan WSM (*Weighted Sum Model*). Dimana, metode WASPAS lebih mengedepankan nilai kepentingan dari setiap atribut hanya ditentukan dengan mengevaluasi alternatif yang bersangkutan. Metode ini telah banyak dipakai diberbagai kasus MCDM, khususnya pemilihan material atau pembelian suatu barang. Penelitian yang dilakukan oleh Chandra dan Hansun [13] memanfaatkan metode ini untuk menentukan pembelian komputer laptop terbaik dari perspektif pembeli. Selain itu, metode WASPAS juga dapat digunakan untuk memilih pestisida untuk tanaman padi sebagaimana telah diteliti oleh Muslim dan Herdiana [14]. Terdapat pula penelitian lain yang mengaplikasikan metode WASPAS untuk tujuan pemilihan produk air mineral yang dilakukan oleh Bei dan Saepudin [15]. Sehingga, hal tersebut menunjukkan bahwa metode WASPAS dapat diterapkan diberbagai tujuan pengambilan keputusan. Tabel 1 menunjukkan beberapa penelitian-penelitian yang menggunakan Metode WASPAS diberbagai objek.

Tabel 1. Penerapan Metode WASPAS di Berbagai Objek Penelitian

No.	Objek Penelitian	Pengarang
1.	Pemilihan Karyawan/Pegawai	[16], [17], [18], [19], [20]
2.	Industri dan Manufaktur	[21], [22], [23], [24]
3.	Logistik	[25], [26], [27]

Namun, pemilihan MCU yang terbaik di pasaran tentunya tidak memiliki pembobotan secara subjektif. Hal ini dikarenakan pemilihan bukan didasarkan secara subjektif oleh pembuat keputusan yang struktural seperti di suatu organisasi atau perusahaan [28]. Sehingga, dibutuhkan metode pembobotan secara objektif yang akan diberikan pada setiap kriteria yang ada. Terdapat beberapa jenis metode pembobotan objektif dalam kasus MCDM, seperti *Entropy Weighting Method* (EWM), *Criterion Impact Loss* (CILOS), *Integrated Determination of Objective Criteria Weights* (IDOCRIW), dan *CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC). Metode CRITIC adalah salah satu metode pembobotan objektif yang sangat populer diantara metode lainnya dikarenakan metode ini tidak memerlukan intervensi pengambil keputusan dengan menghilangkan sudut pandang subjektif dari pembuat keputusan [29]. Artinya, metode CRITIC adalah metode pembobotan yang dapat diaplikasikan pada suatu kasus yang pembobotannya bersifat independen. Metode CRITIC mengusung prinsip bahwa semakin besar sebaran nilai atribut alternatif (standar deviasi), maka semakin besar informasi berharga yang dikandung kriteria (indikator) dan semakin tinggi bobot kriteria [30]. Sehingga, metode ini cukup tepat untuk diaplikasikan pada penelitian ini. Oleh maka itu, penelitian ini akan menentukan MCU terbaik di pasaran dengan menggunakan metode WASPAS dan metode CRITIC sebagai pembobotan secara objektif.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode WASPAS

Pada penelitian ini, metode WASPAS digunakan sebagai cara untuk menentukan MCU mana yang terbaik di pasaran. Terdapat beberapa langkah-langkah dalam perhitungan metode WASPAS, yaitu sebagai berikut [11].

1. Melakukan normalisasi matriks keputusan (x) sehingga membentuk matriks ternormalisasi (r_{ij}) dengan menggunakan persamaan (1) untuk nilai kriteria yang bersifat keuntungan (*benefit*) dan untuk nilai kriteria yang bersifat biaya (*cost*) (2).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{Max}(x_{ij})} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{\text{Min}(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (2)$$

2. Menghitung nilai WSM dari alternatif ke- i dengan menggunakan persamaan (3)

$$WSM_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} w_j \quad (3)$$

3. Menghitung nilai WPM dari alternatif ke- i dengan menggunakan persamaan (4).

$$WPM_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (4)$$

4. Menghitung nilai WASPAS (Q_i) dengan menggunakan persamaan (5).

$$Q_i = 0.5 * \sum_{j=1}^n WSM_i + 0.5 * \sum_{j=1}^n WPM_i \quad (5)$$

2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. MCU yang dipilih sebagai data sampel berasal dari artikel yang tersedia di Internet yang membahas tentang 5 MCU terbaik di tahun 2022 [31]. Dari artikel tersebut, terdapat informasi tentang penjelasan spesifikasi tiap-tiap MCU di pasaran. Penelitian ini merangkum data-data yang dibutuhkan dari seluruh kriteria MCU terbaik berikut dengan jenisnya seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alternatif dari MCU dan Kriteria

Alternatif	Kriteria						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Set Instruksi (bit)	Arsitektur Memori (byte)	Jumlah I/O pins	Konsumsi daya (voltage)	Harga (\$)	Ukuran RAM (byte)	Kecepatan Pemrosesan (MHz)
PIC16F877A	8	256	33	5	7.77	368	256
ESP32	32	512	39	3.6	5.13	512	240
Arduino UNO rev3	16	1024	14	5	26.79	2048	16
Attiny85	8	512	6	5.5	1.78	512	20
Raspberry Pi PICO	32	2048	26	5.5	4	264	133
Sifat kriteria	<i>Benefit</i>	<i>Benefit</i>	<i>Cost</i>	<i>Cost</i>	<i>Cost</i>	<i>Benefit</i>	<i>Benefit</i>

Dari Tabel 2, terdapat 5 alternatif MCU terbaik yang ada di pasaran yaitu, PIC16F877A, ESP32, Arduino UNO rev3, Attiny85m dan Raspberry Pi PICO dengan nilai kriteria yang bervariasi. Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa kriteria set instruksi (C1), arsitektur memori (C2), jumlah ukuran RAM (C6), dan kecepatan pemrosesan (C7) bersifat *benefit*. Di sisi lain, kriteria jumlah pin dari I/O (C3), konsumsi daya (C4), dan harga (C5) bersifat *cost*.

2.3 Metode CRITIC

Metode pembobotan pada MCDM terbagi atas 2 jenis, yaitu metode pembobotan subjektif dan metode pembobotan objektif. Sebagai salah satu metode pembobotan objektif, metode CRITIC adalah metode yang cukup kuat dalam menentukan bobot kriteria. Adapun langkah-langkah perhitungan bobot dengan metode CRITIC adalah sebagai berikut.

1. Melakukan normalisasi matriks keputusan (x) sehingga membentuk matriks ternormalisasi (r_{ij}) dengan menggunakan persamaan (6) untuk nilai kriteria yang bersifat keuntungan (*benefit*) dan untuk nilai kriteria yang bersifat biaya (*cost*) digunakan persamaan (7).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (7)$$

2. Menentukan nilai standar deviasi (S_j) dari jumlah alternatif di setiap kriteria (m), yakni dengan menggunakan persamaan (8).

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} * \sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2} \quad (8)$$

3. Menentukan nilai korelasi linear matriks (C_{jk}) antara suatu kriteria (r_j) dengan kriteria lainnya (r_k), yakni dengan menggunakan persamaan (9).

$$C_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) * (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 * \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}}, \quad j, k = 1, \dots, n \quad (9)$$

4. Menghitung nilai indikator kunci (q_j) dengan persamaan (10) dan Menentukan nilai bobot (w_j) dari setiap kriteria dengan persamaan (11).

$$q_j = S_j * \sum_{k=1}^n (1 - |C_{jk}|), \quad j = 1, \dots, n \quad (10) \quad w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Nilai Bobot Kriteria

Perhitungan bobot dari setiap kriteria dilakukan dengan metode CRITIC yaitu dengan menormalisasi matrik keputusan (x) dari Tabel 2 menjadi matriks ternormalisasi (r_{ij}) dengan menggunakan persamaan (6) dan (7) sebagai berikut.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1818 & 0.2631 & 0.7604 & 0.0582 & 1 \\ 0 & 0.8571 & 0 & 1 & 0.8660 & 0.8609 & 0.0667 \\ 0.6667 & 0.5714 & 0.7575 & 0.2631 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0.8571 & 1 & 0 & 1 & 0.8609 & 0.9833 \\ 0 & 0 & 0.3939 & 0 & 0.9112 & 1 & 0.5125 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, menghitung nilai standar deviasi dari setiap kriteria (S_j) dengan menggunakan persamaan (8). Hasil perhitungan nilai standar deviasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Matriks Ternormalisasi dan Standar Deviasi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PIC16F877A	0	0	0.1818	0.2631	0.7604	0.0582	1
ESP32	0	0.8571	0	1	0.8660	0.8609	0.0667
Arduino UNO rev3	0.6667	0.5714	0.7575	0.2631	0	0	1
Attiny85	1	0.8571	1	0	1	0.8609	0.9833
Raspberry Pi PICO	0	0	0.3939	0	0.9112	1	0.5125
Standar Deviasi (S_j)	0.4714	0.4333	0.4102	0.4100	0.4048	0.4847	0.4170

Langkah berikutnya adalah menentukan nilai korelasi linear matriks (C_{jk}) antara suatu kriteria (r_j) dengan kriteria lainnya (r_k), yakni dengan menggunakan persamaan (9). Adapun hasil dari perhitungannya terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Korelasi Linear Matriks

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	0.5828	0.9401	-0.4311	-0.2348	-0.0719	0.5881
C2	0.5828	1	0.3141	0.4358	-0.0253	0.2439	-0.2173
C3	0.9401	0.3141	1	-0.6911	-0.2313	-0.0401	0.6751
C4	-0.4311	0.4358	-0.6911	1	-0.0207	0.0347	-0.7229

C5	-0.2348	-0.0253	-0.2313	-0.0207	1	0.7579	-0.3732
C6	-0.0719	0.2439	-0.0401	0.0347	0.7579	1	-0.6258
C7	0.5881	-0.2173	0.6751	-0.7229	-0.3732	-0.6258	1

Kemudian, langkah terakhir adalah menentukan nilai indikator kunci (q_j) dan nilai bobot (w_j) dengan menggunakan persamaan (10) dan persamaan (11). Hasil penentuan nilai bobot dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Indikator Kunci dan Bobot Kriteria

Kriteria	Nilai Indikator Kunci (q_j)	Bobot (w_j)
C1	1.7097	0.1091
C2	1.7281	0.1103
C3	1.9012	0.1213
C4	3.0147	0.1924
C5	2.4171	0.1543
C6	2.2161	0.1414
C7	2.6757	0.1708

3.1 Perhitungan Metode WASPAS

Perhitungan pada metode WASPAS dimulai dengan melakukan normalisasi matriks keputusan (x) dari Tabel 2 menjadi matriks ternormalisasi (r_{ij}) dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2). Adapun hasil normalisasinya adalah sebagai berikut.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.125 & 0.1818 & 0.72 & 0.2290 & 0.1796 & 1 \\ 1 & 0.25 & 0.1538 & 1 & 0.3469 & 0.25 & 0.9375 \\ 0.5 & 0.5 & 0.4285 & 0.72 & 0.0664 & 1 & 0.0625 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 0.6545 & 1 & 0.25 & 0.0781 \\ 1 & 1 & 0.2307 & 0.6545 & 0.445 & 0.1289 & 0.5195 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, perhitungan nilai WSM dari alternatif ke-i dilakukan dengan menggunakan persamaan (3). Hasil perhitungan nilai WSM dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan WSM

Alternatif	WSM_1	WSM_2	WSM_3	WSM_4	WSM_5	WSM_6	WSM_7
PIC16F877A	0.0272	0.0137	0.0220	0.1385	0.0353	0.0254	0.1708
ESP32	0.1091	0.0275	0.0186	0.1924	0.0535	0.0353	0.1601
Arduino UNO rev3	0.0545	0.0551	0.0520	0.1385	0.0102	0.1414	0.0106
Attiny85	0.0272	0.0275	0.1213	0.1259	0.1543	0.0353	0.0133
Raspberry Pi PICO	0.1091	0.1103	0.0280	0.1259	0.0686	0.0182	0.0887

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai WPM dari alternatif ke-i dilakukan dengan menggunakan persamaan (4). Adapun hasil perhitungannya terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan WPM

Alternatif	WPM_1	WPM_2	WPM_3	WPM_4	WPM_5	WPM_6	WPM_7
PIC16F877A	0.8596	0.7950	0.8131	0.9387	0.7966	0.7844	1.0000
ESP32	1	0.8582	0.7968	1	0.8493	0.8219	0.9890
Arduino UNO rev3	0.9271	0.9264	0.9023	0.9387	0.6581	1	0.6227

Attiny85	0.8596	0.8582	1	0.9217	1	0.8219	0.6469
Raspberry Pi PICO	1	1	0.8369	0.9217	0.8825	0.7484	0.8942

Kemudian, langkah terakhir pada perhitungan metode WASPAS adalah menentukan nilai Q_i dengan menggunakan persamaan (5). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 8.

Alternatif	$\sum_{j=1}^n WSM_i$	$\sum_{j=1}^n WPM_i$	Q_i	Ranking
PIC16F877A	0.4333	5.9873	3.2103	5
ESP32	0.5969	6.3151	3.4560	1
Arduino UNO rev3	0.4627	5.9752	3.2190	4
Attiny85	0.5052	6.1082	3.3067	3
Raspberry Pi PICO	0.5491	6.2836	3.4164	2

Berdasarkan hasil perhitungan metode WASPAS, maka dapat disimpulkan bahwa ESP32 adalah MCU terbaik yang ada di pasaran. Berikutnya, Raspberry Pi PICO berada pada posisi kedua dari perankingan. Attiny85 berada di posisi ketiga, Arduino UNO rev3 pada posisi keempat, dan PIC16F877A di posisi terakhir.

4. KESIMPULAN

MCU merupakan bagian penting di zaman sekarang ini. Hal ini dikarenakan fungsi nya yang mendukung akan sistem otomatisasi akan suatu benda elektronika dan mesin guna membantu manusia dalam kegiatannya, baik di bidang industri, organisasi, perusahaan, pertanian, dan individu. Penelitian ini menentukan MCU terbaik yang ada di pasaran. Terdapat 5 MCU yang paling populer saat ini, yaitu PIC16F877A, ESP32, Arduino UNO rev3, Attiny85m dan Raspberry Pi PICO. Dengan memanfaatkan metode WASPAS dan pembobotan objektif dari metode CRITIC, ESP32 terpilih sebagai MCU yang terbaik dari berbagai kriteria. Dari segi set instruksinya, ESP32 memiliki jumlah bit sebanyak 32. Hal ini mengindikasikan bahwa ESP32 cocok untuk diaplikasikan kepada program yang membutuhkan kekuatan pemrosesan yang besar.

Lebih lanjut, dari segi arsitektur memorinya, ESP32 memiliki arsitektur flash memori dengan kapasitas 512 byte yang memadai, yakni memiliki kelebihan untuk memberikan keleluasaan untuk melakukan perubahan kode. Jumlah ukuran RAM yang dimiliki ESP32 juga cukup besar, yakni 512 byte dan kecepatan pemrosesan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 240 MHz. Lebih lanjut, ESP32 juga memiliki jumlah pin dari I/O yang tidak terlalu banyak, sehingga tidak terlalu memerlukan ukuran fisik yang besar. Konsumsi daya yang dimiliki ESP32 juga tergolong stabil dengan kekuatan maksimal yaitu 3.6 Volt. Terlebih lagi, harga dari ESP32 masih dapat dikatakan murah yaitu dengan kisaran harga sekitar USD 5. MCU yang lain bukan berarti memiliki kualitas yang rendah. MCU sendiri digunakan harus sesuai dengan kebutuhan pemanfaatannya. Penelitian ini hanya memberikan rekomendasi kepada calon pembeli atau pengguna dalam menentukan MCU yang terbaik. Sehingga, penelitian ini mengharuskan adanya model MCDM lainnya dengan mempertimbangkan kriteria lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Firat and T. Ugurlu, "Automatic Garage Door System with Arduino For defined licence plates of cars," in *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 2018, pp. 1–8.
- [2] W. Bolton, *Programmable logic controllers*. Newnes, 2015.
- [3] W. Kunikowski, E. Czerwiński, and J. Olejnik Paweł and Awrejcewicz, "An overview of ATmega AVR microcontrollers used in scientific research and industrial applications," *Pomiar Autom. Robot.*, vol. 19, 2015.
- [4] G. Pandey and A. Vora, "Open electronics for medical devices: state-of-art and unique advantages," *Electronics*, vol. 8, no. 11, p. 1256, 2019.
- [5] A. Rhouma, S. Hafsi, and F. Bouani, "Global Optimization in Robust Fractional Control of Uncertain

- Fractional Order Systems: A Thermal Application Using the STM32 Microcontroller,” *Electronics*, vol. 11, no. 2, p. 268, 2022.
- [6] A. V. Pandiankal, *A Key to Program Microcontroller System*. S Chand, 2012.
- [7] S. A. Rubizova, “Overview and Comparative Study of Microcontrollers,” *Probl. Mod. Sci. Educ.*, no. 25 (107), pp. 31–33, 2017.
- [8] M. K. Parai, B. Das, and G. Das, “An overview of microcontroller unit: from proper selection to specific application,” *Int. J. Soft Comput. Eng.*, vol. 2, no. 6, pp. 228–231, 2013.
- [9] J. F. D’Souza, A. D. Reed, and C. K. Adams, “Selecting microcontrollers and development tools for undergraduate engineering capstone projects,” *Comput. Educ.*, vol. 24, no. 1, 2014.
- [10] A. Alinezhad, J. Khalili, and others, *New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM)*, vol. 277. Springer, 2019.
- [11] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene, and A. Zakarevicius, “Optimization of weighted aggregated sum product assessment,” *Elektron. ir elektrotechnika*, vol. 122, no. 6, pp. 3–6, 2012.
- [12] S. Chakraborty and E. K. Zavadskas, “Applications of WASPAS method in manufacturing decision making,” *Informatica*, vol. 25, no. 1, pp. 1–20, 2014.
- [13] K. A. Chandra and S. Hansun, “Sistem Rekomendasi Pemilihan Laptop Dengan Metode Waspas,” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 6, no. 2, pp. 76–81, 2019.
- [14] B. Muslim and E. Herdiana, “Aplikasi Metode Waspas Untuk Pemilihan Pestisida Bagi Tanaman Padi Di Cianjur,” *J. Ilm. BETRIK Besemah Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 13, no. 1, pp. 87–94, 2022.
- [15] F. Bei and S. Saepudin, “Analisis Metode Weighted Aggregated Sum Product Assesment pada Pemilihan Merek Produk Air Mineral,” *J-SAKTI (Jurnal Sains Komput. dan Inform.)*, vol. 6, no. 1, pp. 188–198, 2022.
- [16] F. T. Hafis, R. I. Ginting, and D. Suherdi, “Decision Support System Dalam Pemilihan Pegawai Terbaik Kantor Inspektorat Medan Menggunakan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assesment (WASPAS),” *J. Cyber Tech*, vol. 3, no. 2, pp. 364–375, 2020.
- [17] T. N. Sianturi, L. Siburian, R. G. Hutagaol, and S. H. Sahir, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Pegawai Bank Terbaik Menggunakan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS),” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2018, vol. 1, no. 1.
- [18] D. Asdini, M. Khairat, and D. P. Utomo, “Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Kinerja Manajer di PT. Pos Indonesia dengan Metode WASPAS,” *JURIKOM (Jurnal Ris. Komputer)*, vol. 9, no. 1, pp. 41–47, 2022.
- [19] M. Markani and S. Zega, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Ketua Prodi Teknik Informatika Menerapkan Metode WASPAS dan VIKOR,” in *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)*, 2019, vol. 1, no. 1.
- [20] F. D. Simamora, L. R. Zebua, and H. S. Simorangkir, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Mekanik Terbaik Menerapkan Metode WASPAS,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2018, vol. 1, no. 1.
- [21] A. P. R. Pinem, S. Asmiatun, A. N. Putri, and others, “Determination of Industrial Location Using the WASPAS Method with Spatial Data as Criteria Data,” *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 4, no. 4, pp. 691–696, 2020.
- [22] F. Ginting, Y. Angelita, and A. A. B. Ginting, “Sistem Pendukung Keputusan Menentukan Jumlah Produksi Menggunakan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS),” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2018, vol. 1, no. 1.
- [23] E. Adriantantri, I. B. Suardika, and R. D. Myrtanti, “PEMILIHAN SUPPLIER PADA PERUSAHAAN MEBEL MENGGUNAKAN DEA,” *Mnemon. J. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–25, 2022.
- [24] R. R. Benning, “LKP: Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Pemindahan Barang Baru Datang

- Menggunakan Metode Simple Additive Weighting pada Gudang PT. Panahmas Ekatama Distrindo,” Universitas Dinamika, 2021.
- [25] J. Mirano, H. Hafizah, and A. Calam, “Sistem Pendukung Keputusan Dalam Menentukan Prioritas Utama Pengadaan Alat Kesehatan Pada Puskesmas Galang Kecamatan Galang dengan Menggunakan Metode WASPAS,” *J. Cyber Tech*, vol. 2, no. 11, 2022.
- [26] S. A. Hasibuan, R. Dewi, and R. Andika, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Pemasok Nata De Coco Dengan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS),” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2018, vol. 1, no. 1.
- [27] A. Mareta and A. Y. Saputra, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Supplier Bahan Bangunan Menggunakan Metode Weight Product Pada Pt. Cipta Arsigriya,” *J. Ilm. Bin. STMIK Bina Nusantara. Jaya Lubuklinggau*, vol. 2, no. 2, pp. 43–50, 2020.
- [28] M. Žižović, B. Miljković, and D. Marinković, “Objective methods for determining criteria weight coefficients: A modification of the CRITIC method,” *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 149–161, 2020.
- [29] I. Siksnyte-Butkiene, E. K. Zavadskas, and D. Streimikiene, “Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: A review,” *Energies*, vol. 13, no. 5, p. 1164, 2020.
- [30] I. Mukhametzyanov, “Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: Entropy, CRITIC and SD,” *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 76–105, 2021.
- [31] H. Zahid, “Top 5 Microcontrollers You Should Get to Know in 2022,” 2022. <https://linuxhint.com/top-microcontrollers-2022/> (accessed Aug. 29, 2022).