

Metoda Kalibrasi Sensor Perak Kapasitif Berbasis Mikrokontroler ATmega328 Sebagai Alat Ukur Beda Potensial Membran

Calibration Method for Capacitive Silver Sensor Based on ATmega328 Microcontroller as a Membrane Potential Difference Measuring Instrument

A. A. N. Surya Mahendra Putra^{1,a}, N. N. Rupiasih^{1,b*}, I Wayan Supardi^{1,c}

¹Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Udayana University, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

^agungde982@gmail.com; ^{*b}rupiasih@unud.ac.id; ^csupardi@unud.ac.id

Abstrak – Dalam pembuatan suatu alat ukur khususnya alat ukur berbasis elektronika, perlu dilakukan kalibrasi alat yang dibuat dengan sebuah instrumen standar sekaligus mengetahui karakteristik pengukurannya. Pada penelitian ini, alat ukur beda potensial yang telah dibuat menggunakan sensor kapasitif perak berbasis mikrokontroler ATmega328 telah dilakukan kalibrasi menggunakan elektroda referensi standar yaitu Hanna HI 5414. Pengujian alat dilakukan dengan menggunakan membran kitosan dan larutan KCl. Dari kalibrasi sensor ditemukan sebuah persamaan yaitu $Y = 0,9935X + 0,0001$ dan telah dikonversikan ke mikrokontroler ATmega328. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi alat ukur mencapai 99,82% dengan waktu pengukuran ± 3900 s lebih cepat dibandingkan instrumen standarnya.

Kata kunci: Kalibrasi; alat ukur; sensor perak kapasitif; ATmega328; membran kitosan.

Abstract – In making a measuring instrument, especially an electronics-based measuring instrument, it is necessary to calibrate the instrument made with a standard instrument while also knowing its measurement characteristics. In this study, a potential difference measuring instrument that was made using a silver capacitive sensor based on an ATmega328 microcontroller was calibrated using a standard reference electrode, namely Hanna HI 5414. The instrument was tested using a chitosan membrane and KCl solution. From the sensor calibration, an equation was found, namely $Y = 0.9935 X + 0.0001$ and has been converted to the ATmega328 microcontroller. The test results show that the accuracy of the measuring instrument reaches 99.82% with a measurement time of ± 3900 s faster than the standard instrument.

Keywords: Calibration; measuring instrument; capacitive silver sensor; ATmega328; chitosan membrane.

1. Pendahuluan

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi telah merambah dan mempengaruhi dunia industri, sehingga semakin ketatnya persaingan mutu produk di pasar bebas telah menuntut sistem pengujian hasil produk industri tersebut lebih dapat dipertanggungjawabkan baik metoda maupun ketelitiannya. Semua peralatan yang berkaitan dengan mutu diharuskan tertelusur ke standar nasional, maka perlu dilakukan kalibrasi agar tetap tertelusur ke standar nasional. Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antar nilai yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh benda ukur, dan nilai yang telah diketahui yang berkaitan dengan besaran yang diukur pada kondisi tertentu.

Dalam bidang pendidikan, misalnya pada percobaan beda potensial listrik. Pengukuran beda potensial menggunakan alat ukur voltmeter dengan dua buah elektroda sebagai penghantar yaitu anoda dan katoda dan larutan elektrolit sebagai sumber energi listrik. Metode pengukuran beda potensial dilakukan menggunakan voltmeter sebagai alat ukur yang pembacaannya dicatat satu persatu. Cara pengukuran ini

tidak efisien dan kurang efektif. Oleh karena itu pada penelitian ini dibuat alat ukur beda potensial menggunakan sensor perak kapasitif berbasis mikrokontroler ATmega328 dan dikalibrasi menggunakan elektroda standar yaitu Hanna HI 5414 *reference electrode*.

2. Landasan Teori

2.1. Transport Ion

Transport ion melintasi membran merupakan proses perpindahan ion dari satu ruang ke ruang lainnya, hal ini dapat terjadi melalui proses transport pasif dan aktif. Menurut Hukum Difusi Fick, dimana ion-ion yang konsentrasinya tinggi akan bergerak melintasi membran menuju konsentrasi yang lebih rendah. Aliran ion mempengaruhi aliran arus listrik pada membran [1]. Besarnya arus berhubungan dengan tegangan dan perbedaan konsentrasi larutan elektrolit. Permukaan membran saat pertukaran ion (*ion-exchange membrane*) dengan larutan elektrolit dapat terjadi suatu fenomena polarisasi konsentrasi. Beda tegangan ion yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) [2].

$$V_i = \frac{RT}{z_i F} \ln \left(\frac{C_{i_1}}{C_{i_2}} \right) \quad (1)$$

Dimana V_i adalah beda potensial ion dalam $J.C^{-1}$ atau V, R adalah konstanta gas ideal = $8,31441 J.mol^{-1}.K^{-1}$, T adalah temperatur larutan dalam K, z_i adalah valensi ion, F adalah konstanta Faraday = $96.484,56 C.mol^{-1}$, C_{i_1} dan C_{i_2} masing-masing adalah konsentrasi ion pada ruang pertama (*input*) dan pada ruang kedua (*out*).

2.2. Sensor kapasitif

Sensor kapasitif menggunakan dua pelat logam berjarak dekat yang bertindak sebagai kondensator [3]. Sensor kapasitif biasanya terbuat dari lempengan tembaga, perak, platinum dan emas dengan bekerja berdasarkan muatan-muatan listrik yang dapat diterima oleh sensor akibat perubahan jarak lempeng dan perubahan luas penampang [4].

2.3. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik [5]. Berdasarkan kuat dan lemah daya hantar listriknya, larutan elektrolit dapat dibedakan menjadi larutan elektrolit kuat dan larutan elektrolit lemah [6]. Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang semua molekulnya terurai menjadi ion-ion atau terionisasi sempurna, seperti larutan garam (NaCl, KNO₃ dan KCl), larutan asam kuat (HCl, H₂SO₄ dan HNO₃), dan larutan basa kuat (NaOH dan KOH). Larutan elektrolit lemah yaitu larutan yang molekulnya terionisasi tidak sempurna sehingga sedikit ion-ion yang dapat menghantarkan listrik seperti CH₃COOH dan HCN [6].

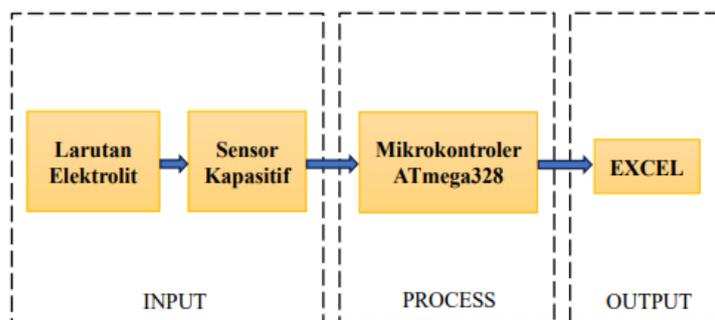
2.4. Mikrokontroler ATmega328

ATmega328 adalah mikrokontroler yang digunakan pada *board* Arduino yaitu Arduino UNO, Arduino Pro Mini, Arduino Mega dan Arduino Nano [7]. Mikrokontroler ATmega328 berfungsi sebagai otak dari pengendali sistem alat, bahasa pemrogramannya yang digunakan adalah bahasa C, dan IDE adalah *software* yang digunakan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi *code* biner dengan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler IDE [8].

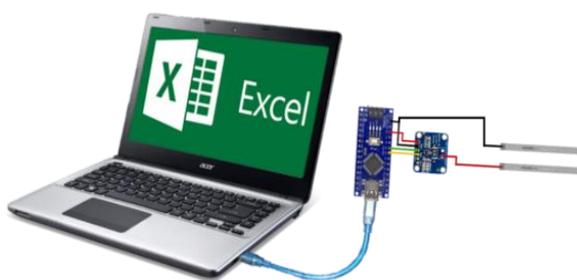
3. Metoda Penelitian

3.1. Sistem desain

Alat ukur beda potensial didesain seperti terlihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan, blok *input* terdiri dari larutan elektrolit sebagai sumber energi listrik, dan sensor kapasitif sebagai elektroda yaitu anoda dan katoda. Data dari *input* diproses dari sinyal analog menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler dengan *output* ditampilkan pada *software excel* menggunakan software PLX-DAQ, sehingga terbentuk rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram blok instrument.



Gambar 2. Skema rangkaian alat.

3.2. Metoda kalibrasi

Pengambilan data untuk kalibrasi perancangan alat ukur beda potensial dilakukan dengan mengamati data alat rancangan dan alat standar yang digunakan untuk kalibrasi yaitu *Reference Electrode* HI 5414 dengan *range* maksimum konsentrasi 3,5 M. Kalibrasi dilakukan pada rentang *set point* 5 ml sampai 15 ml dengan kenaikan 0,1 ml pada setiap *set point* dengan jarak 3 cm.

Kalibrasi dilakukan untuk menentukan deviasi dan kebenaran nilai penunjukkan alat ukur dan pengukuran hasil dijamin dengan standar nasional maupun international [9]. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan regresi yaitu Persamaan (2) [10].

$$Y = aX + b \quad (2)$$

Dimana Y adalah variabel respon, X adalah variabel prediktor, a adalah koefisien regresi, dan b adalah konstanta. Selanjutnya dari Persamaan (2) dapat ditentukan persamaan kalibrasinya yaitu Persamaan (3).

$$Y' = \frac{Y+b}{a} \quad (3)$$

Dimana Y' adalah beda tegangan terkalibrasi, Y adalah pembacaan sensor, a adalah koefisien regresi, dan b adalah konstanta. Selanjutnya Persamaan (3) diterapkan pada kode program rancangan alat ukur, sehingga hasil pengukuran dapat menunjukkan kesesuaian dengan standar instrument.

3.3. Pengaplikasian alat

Pengaplikasian alat dilakukan dengan menggunakan membran kitosan dan larutan KCl. Pengukuran dilakukan dengan mengubah konsentrasi larutan KCl di ruang 1, yaitu dari 0,1, 1, 10, 100, 250, 500, 750, dan 1000 mM dan konsentrasi larutan di ruang 2 adalah konstan yaitu 0,1 mM.

3.4. Pembuatan larutan uji

Larutan uji yang digunakan adalah larutan KCl. Kalibrasi dilakukan dengan konsentrasi larutan 1 M pada volume 5 ml. Massa KCl yang digunakan dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4) [11, 12].

$$m = Mr \cdot M \cdot V \quad (4)$$

Dimana Mr adalah massa molekul relatif, untuk KCl nilainya = 74,56 g/mol. m adalah massa zat (g), M adalah molaritas (M), dan V adalah volume (l). Pengenceran konsentrasi larutan dilakukan menggunakan Persamaan (5) yaitu dengan penambahan volume aquades sebanyak 0,1 ml pada setiap *set point* [13].

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \tag{5}$$

Dimana M_1 dan V_1 masing-masing adalah konsentrasi dan volume larutan sebelum pengenceran, M_2 dan V_2 adalah konsentrasi dan volume larutan setelah pengenceran.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kalibrasi alat rancangan terhadap alat standar

Proses kalibrasi yang dilakukan pada rentang *set point* 5 ml sampai 15 ml dengan kenaikan 0,1 ml pada setiap *set point*. Pada proses ini sensor kapasitif (anoda dan katoda) diletakkan dengan jarak 3 cm pada sebuah model sel yang terdiri dari 2 ruangan, yang dipisahkan oleh membran kitosan. Ruang tersebut diisi dengan 5 ml aquades dan 1 M KCl dengan penambahan aquades 0,1 ml setiap data sudah stabil sampai *set point* 15 ml. Didapatkan hasil Persamaan (6), yang selanjutnya dimasukkan ke dalam program mikrokontroler.

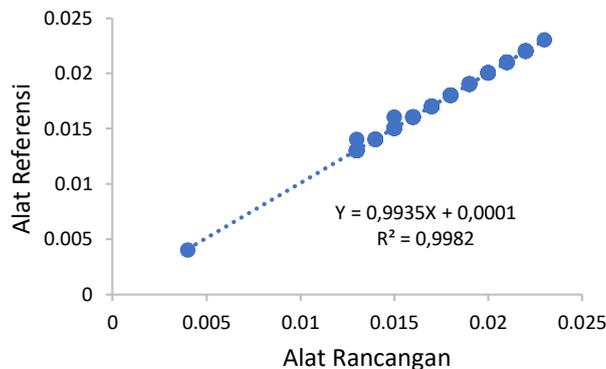
$$Y = 0,9675X + 0,0018 \tag{6}$$

Adapun kode program sebagai berikut:

```
void loop() {  
    busvoltage = (ina219.getBusVoltage_V() - bus_calib);  
    busvoltage_kalibrasi = (busvoltage - 0.0018)/0.9675;  
}
```

4.2. Uji coba

Proses uji coba ini dilakukan untuk menguji kembali alat rancangan setelah Persamaan (6) dimasukkan ke dalam program mikrokontroler.



Gambar 3. Grafik beda potensial membran alat rancangan terhadap alat referensi.

Data hasil pengukuran pada tahap uji ditunjukkan pada Gambar 3. Tampak bahwa, pada gambar tersebut diperoleh Persamaan (7), dimana nilai koefisien regresinya (gradien) adalah 0,9935, konstanta sebesar 0,0001 dan nilai koefisien determinasi (R^2) adalah 0,9982. Nilai koefisien determinasi tersebut dapat diartikan bahwa tingkat keakuratan hasil pengukuran alat rancangan terhadap alat standar yaitu 99,82%.

$$Y = 0,9935X + 0,0001 \tag{7}$$

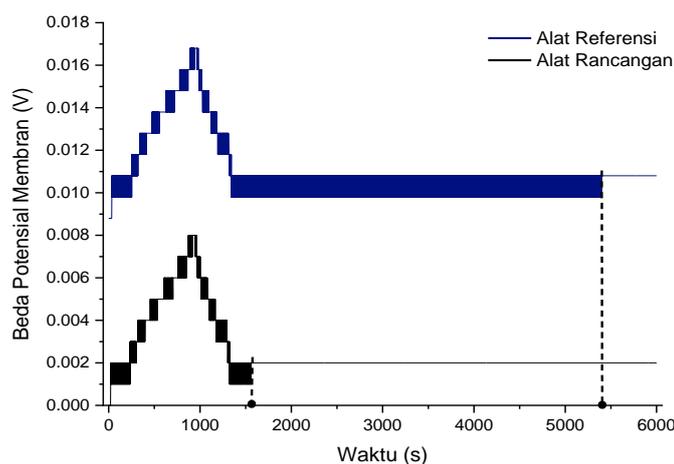
4.3. Pengaplikasian alat

Proses pengaplikasian alat ini dilakukan untuk menguji kembali alat rancangan setelah dilakukan uji coba untuk memastikan keakuratan alat. Pada proses pengaplikasian ini, larutan yang digunakan di ruang 1 adalah dengan variasi konsentrasi 0,1, 1, 10, 100, 250, 500, 750, dan 1000 mM dan konsentrasi larutan di ruang 2 yaitu konstan 0,1 mM. Pada pengaplikasian ini dicatat data beda potensial membran sebagai fungsi waktu. Dari hasil pengukuran diperoleh data seperti tampak pada Tabel 1. Data beda potensial membran dan waktu yang diperlukan kedua alat ukur diperlihatkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Data beda potensial membran dan waktu yang diperlukan alat ukur rancangan dan alat ukur standar (referensi).

Konsentrasi (mM)		Beda Potensial Membran (V)		Waktu (s)	
Ruang 1	Ruang 2	Referensi	Rancangan	Referensi	Rancangan
0,1	0,1	0,0026	0,0026	5,400	1,560
1	0,1	0,0068	0,0068	5,455	1,500
10	0,1	0,0080	0,0080	5,470	1,530
100	0,1	0,0106	0,0106	5,478	1,535
250	0,1	0,0116	0,0116	5,490	1,550
500	0,1	0,0168	0,0170	5,505	1,600
750	0,1	0,0176	0,0176	5,558	1,640
1000	0,1	0,0186	0,0186	5,562	1,700

Dari data Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan konsentrasi molar (M) dari larutan KCL yang digunakan maka semakin besar beda potensial yang ditimbulkan.

**Gambar 4.** Grafik beda potensial membran terhadap waktu.

Gambar 4 menunjukkan waktu yang diperlukan alat ukur untuk mendapatkan data beda potensial membran bernilai konstan. Tampak bahwa pada alat rancangan memerlukan waktu sekitar 1500 s, sedangkan alat ukur referensi memerlukan waktu sekitar 5400 s. Jadi respon pengukuran beda potensial membran dalam larutan KCl dengan menggunakan alat ukur rancangan lebih cepat mencapai nilai yang stabil dibandingkan dengan pengukuran dengan alat referensi.

5. Kesimpulan

Dari hasil perancangan alat ukur dan pengaplikasian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Akurasi alat ukur beda potensial membran menggunakan sensor perak kapasitif berbasis mikrokontroler ATmega328 mencapai 99,82%. Untuk mendapatkan data pengukuran yang stabil, alat ukur rancangan memerlukan waktu sekitar 1500 s, sedangkan alat ukur standar atau alat referensi memerlukan waktu sekitar 5400 s. Jadi hasil pengujian ini menunjukkan bahwa waktu pengukuran dengan menggunakan alat rancangan 3900 s lebih cepat dibandingkan alat ukur standarnya (alat ukur referensi).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, khususnya Kepala Laboratorium Biofisika dan Koordinator Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana, yang telah memfasilitasi dan memberikan kemudahan untuk melaksanakan penelitian ini.

Pustaka

- [1] I. Supu, Mekanisme Transport Ion Melalui Karakterisasi Sifat Listrik Pada membran Jeruk Lemon, *Jurnal Dinamika*, vol. 6, no. 1, 2020, pp. 11-24.
- [2] N. N. Rupiasih, M. Sumadiyasa, I. K. Putra, M. N. Rasmini, Studi Sifat Transportasi Membran Kitosan pada Berbagai Jenis Elektrolit, *Jurnal Matematika dan Sains*, vol. 50, no. 2, 2018, pp. 182-191.
- [3] T. Tsuchiya dan H. Funabashi, Akselerometer SOI Kapasitif Diferensial sumbu Z dengan Elektroda Sisir Vertikal, *Jurnal Fisika*, vol. 116, no. 3, 2020, pp. 378-383.
- [4] E. B. Cahyono, Supriyadi, A. Rofiq, Karakteristik Sensor Kapasitif Pelat Sejajar Dalam Aplikasinya Sebagai Instrument Pengukur Curah Hujan Berbasis Arduino Uno, *Jurnal of Applied Physics*, vol. 7, no. 2, 2020, pp. 97-106.
- [5] H. Tritiyatma, Analisis Konsep Alternatif Siswa tentang Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit Menggunakan Tes Diagnostik Dua Tingkat untuk Peningkatan Pengajaran Kimia, *Jurnal Universal Penelitian Pendidikan*, vol. 8, no. 5, 2020, pp. 1926-1934.
- [6] N. A. Santi dan M. Rahayu, Analisis Miskonsepsi Siswa pada Materi Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit Menggunakan Instrument Multirepresentasi Four-tier Diagnostic Test Berbasis Piktorial, *Journal of Chemistry Education*, vol. 11, no. 3, 2022, pp. 210-219.
- [7] W. W. Ardi, A. W. Indrawati, W. A. Prastya, I. K. Darminta, G. N. Sangka, A. Sapteka, Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan, *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, 2021, pp. 2085-2517.
- [8] T. S. Sulaksono, P. Sukmabuana, N. Nagara, Microcontroller ATmega328P Timer/Counter for Single Channel Gamma Spectroscopy, *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir*, vol. 24, no. 3, 2022, pp. 125-130.
- [9] C. Leonardo, Suraidi, H. Tanudjaya, Analisis Kalibrasi Pengukuran Dan Ketidakpastian Sound Level Meter, *Jurnal teknik Industri*, vol. 8, no. 1, 2021, pp. 46-53.
- [10] R. A. Prasetyo & Helma, Analisis Regresi Linear Berganda Untuk Melihat Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Kemiskinan di Provinsi Sumatera Barat, *Journal of Mathematic UNP*, vol. 7, no. 2, 2022, pp. 62-98.
- [11] A. Pandia, W. Sumarni, A. R. Izzania, Pengembangan Alat Peraga Uji Daya Hantar Listrik Berbasis STEM dan Pengaruhnya Terhadap Literasi Kimia, *Journal of Chemistry Education*, vol. 10, no. 1, 2021, pp. 30-36.
- [12] C. A. Miranda dan Afrida, Kuat Arus Yang Dihasilkan Dari Fermentasi Ekstrak Belimbing Wuluh, *Jurnal Phi*, vol. 3, no. 1, 2020, pp. 18-21.
- [13] R. F. Bobu, Respon Potensial Membran Sel Telur Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Akibat Terkontaminasi Timbal (Pb), *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 30-35.