



## Penerapan Rangkaian Simulasi Terintegrasi Untuk Efisiensi Penggunaan Modul Praktikum Mikrokontroler dan Interfacing

Anggara Nasution<sup>1</sup>, Era Madona<sup>2</sup>, Muhammad irmansyah<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang

<sup>1</sup>anggara@pnp.ac.id, <sup>2</sup>emadona38@gmail.com, <sup>3</sup>mirmansyah38@gmail.com

### Abstract

The purpose of the design and application of the ATMEGA8535 microcontroller system simulation circuit is minimize the damage of the practicum module, helping students improve their understanding of practicum goals through maximum frequency of practices. Every year damage the practicum module avr8535 increased. Based on the analysis, the damage of this module is mostly caused by the damage of the main component, namely the IC ATMEGA8535. This happen because a maximum of program downloading to the IC ATMEGA8535 is 1000 times and this ability can even be less if the operation procedure of the module is incorrect. This simulation software utilizes the facilities contained in the proteus software. The steps to make this simulation circuit are doing the needs analysis, designed the basic circuit, output circuit, input circuit, and ADC circuit. The test results show all units of the circuit can run according to the practicum module. This simulation circuit has been implemented in microcontroller practicum activities and interfacing as companion software. There was a decrease in module damage of 57.60% after the implementation of simulation circuit. With this simulation software programs that have been created can be loaded first into a simulations circuit, so they can extend the life time of the practicum module and can help lecturers in developing lecture material and maximize the understanding of learning for students through practical activities.

Keywords: Practicum Module, Microcontroller, ATMEGA8535, Simulation, Proteus.

### Abstrak

Tujuan dari desain dan penerapan rangkaian simulasi sistem mikrokontroler ATMEGA8535 ini adalah untuk meminimalisir kerusakan pada modul praktikum, membantu mahasiswa dalam meningkatkan pemahaman tujuan praktikum melalui frekuensi praktek yang maksimal. Setiap tahunnya kerusakan modul praktikum mikrokontroler AVR8535 mengalami peningkatan. Berdasarkan analisa yang dilakukan kerusakan modul ini sebagian besar diakibatkan oleh rusaknya komponen utama yaitu IC ATMEGA8535 karena maksimal 1000 kali pengisian program ke IC ATMEGA8535 bahkan bisa berkurang apabila prosedur pengoperasian modul tidak benar. Software simulasi ini memanfaatkan fasilitas yang terdapat pada software proteus. Langkah - langkah pembuatan rangkaian simulasi ini meliputi analisa kebutuhan, mendesain rangkaian dasar, rangkaian output, rangkaian input dan rangkaian ADC. Hasil pengujian menunjukkan semua unit rangkaian dapat berjalan sesuai dengan modul praktikum. Rangkaian simulasi ini telah diimplementasikan pada kegiatan praktikum mikrokontroler dan interfacing sebagai software pendamping. Terjadi penurunan kerusakan modul praktikum sebesar 57,60% setelah penggunaan rangkaian simulasi. Dengan adanya software simulasi ini program yang telah dibuat dapat diisikan terlebih dahulu ke rangkaian simulasi, sehingga dapat memperpanjang life time modul praktikum serta dapat membantu dosen dalam mengembangkan materi perkuliahan serta memaksimalkan pemahaman pembelajaran bagi mahasiswa melalui kegiatan praktikum.

Kata kunci: Modul Praktikum, Mikrokontroler, IC ATMEGA8535, Simulasi, Proteus.

© 2019 Jurnal RESTI

### 1. Pendahuluan

Laboratorium Mikroprosesor dan Mikrokontroler merupakan salah satu laboratorium di lingkungan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang (JTE PNP),

yang berada di Program Studi Teknik Elektronika. Salah satu fungsi yang dimiliki oleh laboratorium ini adalah menyediakan sarana dalam melaksanakan praktikum yang terkait dengan mikroprosesor, mikrokontroler dan interfacing. Selain melaksanakan

Diterima Redaksi : 23-04-2019 | Selesai Revisi : 29-06-2019 | Diterbitkan Online : 04-08-2019

kegiatan praktikum, laboratorium ini juga memiliki aktivitas untuk penelitian dan pengembangan baik yang dilakukan secara individu dalam bentuk Tugas Akhir (TA) maupun yang dilakukan secara kelompok (*Research Group*). Dalam kegiatan praktikum, mahasiswa menggunakan modul-modul praktikum yang disesuaikan dengan mata kuliah mereka. Salah satunya modul mikrokontroler AVR8535 untuk mata kuliah sistem mikrokontroler & interfacing 2. Pada tahun 2017 peralatan modul praktikum mikrokontroler AVR8535 semakin berkurang dan tidak mencukupi, karena modul yang tersedia banyak yang rusak. Berikut tabel data perawatan dan perbaikan di laboratorium mikroprosesor dan mikrokontroler yang diambil dari logbook tahun akademik ,2012/2013, 2014/2015 dan 2016/2017.

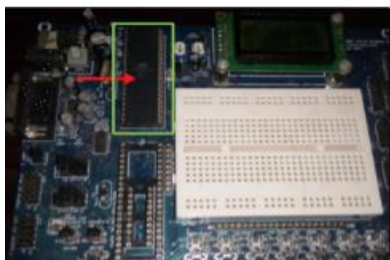
Tabel 1. Kegiatan Praktikum Pada Laboratorium Mikroprosesor dan Mikrokontroler

| No | Kegiatan Praktikum                        | Program Studi             |
|----|-------------------------------------------|---------------------------|
| 1  | Sistem Mikroprosesor                      | D3,D4Teknik Elektronika   |
| 2  | Sistem Mikrokontroler dan Interfacing 1,2 | D3, D4 Teknik Elektronika |
| 3  | PALS VLSI dan Elektronika Terprogram      | D3, D4 Teknik Elektronika |

Tabel 2: Rekapitulasi kerusakan Modul Praktikum AVR (Data logbook MR tahun akademik ,2012/2013, 2014/2015 dan 2016/2017.

| Tahun Akademik | Alat Praktikum | Perbaikan Service | Ganti Part | Jumlah Kerusakan |
|----------------|----------------|-------------------|------------|------------------|
| 2012-2013      | MODUL AVR      | 23                | 25         | 48               |
| 2014-2015      | MODUL AVR      | 20                | 30         | 50               |
| 2016-2017      | MODUL AVR      | 31                | 27         | 58               |

Dari tabel 2 diatas dapat dilihat kerusakan modul praktikum ini mengalami peningkatan tiap tahunnya dengan rata-rata kenaikan 5 kerusakan pertahun. Berdasarkan analisa yang dilakukan kerusakan modul sebagian besar diakibatkan keterbatasan lifetime peralatan khususnya komponen IC AVR Atmega8535 maksimal 1000 kali pengisian[1] bahkan bisa kurang apabila proses pengoperasian modul tidak benar. Selain itu proses pemasangan komponen yang tidak benar pada saat praktikum menyebabkan modul mengalami kerusakan. Gambar 1a adalah modul praktikum AVR, arah panah menunjukkan IC AVR Atmega8535 yang lifetimenya sebanyak 1000 kali pengisian, IC inilah yang sering mengalami kerusakan dan harus diganti.



Gambar 1a. IC Atmega8535 Pada Modul AVR

Gambar 1b nomor 1,2 dan 3 menunjukan pin header AVR isp (Pararel port), Port IC, dan LCD, ketiga pin header ini sering mengalami kerusakan karena buka pasang peralatan pada saat praktikum dan harus disolder ulang.



Gambar 1b. Pin header Port IC Atmega8535

Berdasarkan permasalahan di atas didesain rangkaian simulasi yang *merepresentasikan* proses kerja peralatan/modul praktikum mikrokontroler AVR sebagai pedamping kegiatan praktikum yang dapat meminimalisir kerusakan modul. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan menerapkan rangkaian simulasi untuk meminimalisir kerusakan pada modul pratikum. Penggunaan simulasi komputer untuk dunia pendidikan sudah diterapkan beberapa tahun ini [2]. Simulasi komputer dirancang untuk memudahkan memvisualisasikan dalam proses pembelajaran dan pengajaran [3][4][5]. Bidang ilmu kelistrikan terutama embedded system berbasis mikrokontroler merupakan salah satu yang menggunakan simulasi komputer dalam proses pembelajaran khususnya untuk menunjang kegiatan praktikum mahasiswa[6]. Beberapa penelitian yang terkait telah dilakukan sebelumnya, Subo dkk [7] dalam penelitiannya mengembangkan rangkaian simulasi untuk pembelajaran mikrokontroler MCS8051, rangkaian simulasi yang dibuat diterapkan pada kegiatan pratikum, hasilnya terjadi peningkatan mahasiswa dalam memahami mata kuliah tersebut. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Drazen Cika dkk [8], rangkaian simulasi yang dibuat diterapkan untuk pembelajaran mikrokontroler ARM, kemudian dibandingkan dengan Evaluation board mikrokontroler hasilnya pengukuran pada rangkaian simulasi sama dengan modul pratikum. Menggunakan LabView Deaky dkk [9] mengembangkan rangkaian simulasi untuk pembelajaran mikrokontroler dengan berbagai arsitektur yang berbeda, simulasi yang dibuat kemudian diintegrasikan dengan modul CSM12C32, hasilnya pemahaman siswa terhadap arsitektur-arsitektur mikrokontroler menjadi meningkat. Beberapa software aplikasi yang digunakan untuk pembelajaran antara lain Labview [10][11][12], Proteus [6][7][13], Matlab [14], OpenHardSim [15]. Pada penelitian ini rangkaian simulasi yang dibuat menggunakan Proteus. Proteus adalah software elektronika yang mempunyai dukungan

library yang sangat banyak [6][7][13]. Software aplikasi ini digunakan untuk mensimulasikan pengisian IC AVR Atmega8535 serta proses kerja rangkaian dari sistem minimum mikrokontroler AVR sebelum diisikan ke rangkaian hardware. Dengan menggunakan rangkaian simulasi ini mahasiswa dan dosen dapat mengembangkan materi perkuliahan. Sedangkan bagi laboran/teknisi rangkaian simulasi ini dapat mengefesien si serta meminimalisir kerusakan modul karena dengan adanya software simulasi ini program yang telah dibuat dapat diisikan terlebih dahulu ke rangkaian simulasi, sehingga dapat memperpanjang lifetime modul praktikum tersebut.

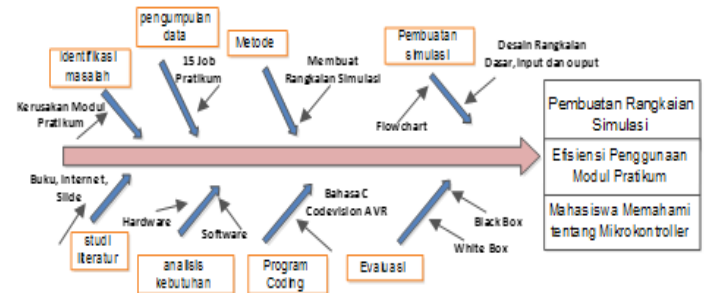
## 2. Metode Penelitian

Mikrokontroler dan Interface merupakan mata kuliah prasyarat, terdiri dari kegiatan teori dan praktikum. Memahami arsitektur dan aplikasi dari mikrokontroler sangat dibutuhkan oleh mahasiswa salah satunya pada saat kegiatan praktikum. Ketersediaan dan kondisi modul yang baik merupakan salah satu syarat untuk itu. Untuk memutuskan metode penelitian mana yang terbaik, identifikasi masalah perlu dilakukan sebelumnya. Ilustrasi masalah dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah dilakukan analisa kerusakan selanjutnya dilakukan pengumpulan data berdasarkan jobsheet praktikum mahasiswa, kemudian jobsheet tersebut dikelompokkan menjadi 4 (empat) kategori rangkaian yaitu rangkaian dasar, rangkaian input, rangkaian ADC dan rangkaian output. Berikut tabel 2, rangkaian simulasi beserta fungsinya

Tabel 3. Tabel Rincian Rangkaian Simulasi

| No | Nama Rangkaian   | Keterangan                                                          |
|----|------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1  | Rangkaian Dasar  | Pengenalan mikrokontroler AVR 8535, power supply dan sistim minimum |
| 2  | Rangkaian output | Rangkaian LED, Seven Segment, LCD dan Motor DC                      |
| 3  | Rangkaian input  | Rangkaian push button, rangkaian keypad, relay                      |
| 4  | Rangkaian ADC    | Rangkaian sensor                                                    |

Selanjutnya rangkaian-rangkaian tersebut dibuat menggunakan aplikasi proteus dan codevision AVR yang disesuaikan dengan modul praktikum yang digunakan. Berikutnya dilakukan pengujian pada setiap rangkaian yang telah dibuat dengan modul praktikum, hal ini dilakukan untuk melihat apakah rangkaian yang telah dibuat sesuai dengan fungsinya. Setelah dilakukan pengujian, langkah selanjutnya dilakukan evaluasi. Evaluasi dilakukan untuk melihat rangkaian simulasi yang telah diujikan dapat meminimalisir kerusakan modul dan meningkatkan pemahaman mahasiswa dengan cara meletakkan rangkaian simulasi pada setiap komputer yang ada di laboratorium, sebelum menggunakan modul praktikum mahasiswa melakukan pengisian program yang mereka buat pada rangkaian simulasi sesuai dengan instruksi penggunaan yang telah dibuat pada jobsheet praktikum.

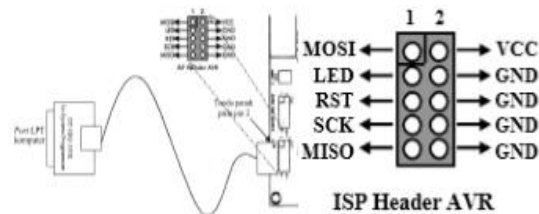


Gambar 2. Metodologi Penelitian

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Desain Rangkaian Simulasi

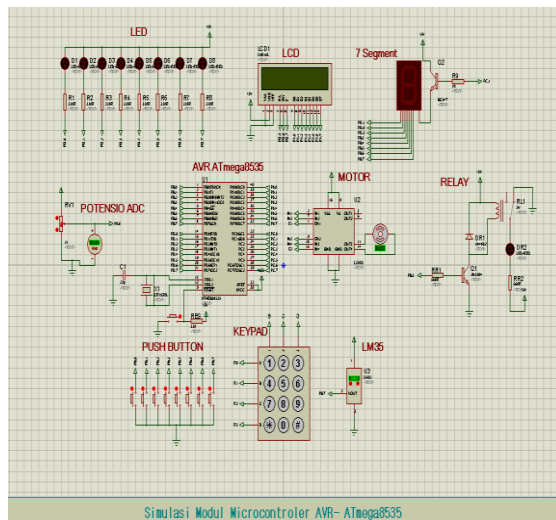
Desain rangkaian simulasi telah dibuat menggunakan Proteus yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler AVR ATmega8535 dengan bahasa pemrograman C, seperti yang terlihat pada gambar 4. Rangkaian Dasar terdiri dari sumber clock, mikrokontroler IC AVR8535 adalah bagian utama dari rangkaian simulasi ini yang bisa difungsikan sebagai input dan output dengan mengubah isi I/O register *Data Direction Register port*. Mikrokontroler AVR memiliki fasilitas pemilihan sumber clock dengan beberapa alternative pilihan. Modul praktikum yang digunakan menggunakan sumber clock external oscillator kristal dengan pemrograman secara *In-System Chip Programming* (ISP). Hubungan device AVR ISP dengan modul praktikum AVR dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan device AVR ISP dengan modul praktikum AVR

*In-System Chip Programming* (ISP) buatan ATMEL adalah sebuah komunikasi serial yang menggunakan bus SPI (*Serial Peripheral Interface*) yang menggunakan Shift Register sebagai komponen utamanya. Ada 2 kabel data yang disebut sebagai MISO (*Master In Slave Out*), dan MOSI (*Master Out Slave In*). Sesuai dengan namanya jika ISP ini adalah sebuah *downloader* dan mikrokontroler, maka dapat dikatakan Master adalah *downloader* dan Slave adalah mikrokontroler. MOSI adalah kabel yang mengirimkan data kepada Slave, sedang MISO kabel tempat master menerima data. Transfer data tersebut memerlukan sebuah kabel lagi, yang dinamakan sebagai *shynchronization*. Dalam hal ini kabel tersebut dinamakan dengan SCK (*Serial Clock*). Data (MISO dan atau MOSI) akan dianggap valid hanya saat SCK

dalam keadaan *high* (tinggi). Dua peralatan yang berkomunikasi ini sama-sama menggunakan Shift Register. Sehingga dalam komunikasi ISP ini, selalu ada data yang dikirim dan diterima secara bersama-sama dalam setiap clock bit-nya. Dalam hal ini. Untuk setiap perintah dalam ISP ini, data 4 byte dikirim sekaligus juga menerima 4 byte data. Untuk memulai proses penulisan, pembacaan atau penghapusan, maka pin RESET harus diaktifkan, Sinyal-sinya data dari dan ke mikrokontroler dikemas dalam format serial. Proses upload (pengisian) program yang berulang dan pemasangan antara master dan slave yang tidak tepat serta sumber tegangan yang drop (turun) pada saat kegiatan pratikum menyebabkan ic mengalami kerusakan. Dengan penggunaan rangkaian simulasi hal-hal tersebut dapat diminimalisir sehingga penggunaan modul pratikum lebih efisien. Selanjutnya dilakukan pengujian rangkaian simulasi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan rangkaian simulasi dengan rangkaian pada modul praktikum untuk melihat apakah proses kerja system mikrokontroler antara keduanya sama, seperti terlihat pada gambar 5a dan 5b.



Gambar 4. Rangkaian simulasi Modul Mikrokontroler AVR- ATmega8535

### 3.2 Pengontrolan LED dengan Potensiometer

Tujuan kegiatan praktikum pada rangkaian ini adalah mahasiswa dapat memahami proses *Analog Digital Converter* (ADC) di mikrokontroler AVR ATmega8535 serta memahami bagaimana memprogram mikrokontroler untuk mengonversi data analog menjadi data digital. Mikrokontroler ini mempunyai ADC dengan resolusi 10-bit. Input ADC dihubungkan ke sebuah 8 chanel *Analog Multiplexer* yang digunakan untuk *single ended input channels*. Masing-masing chanel dari *analog multiplexer* terhubung dengan port A. ADC pada mikrokontroler ATMEGA8535 mempunyai tegangan referensi yang dapat dipilih. Tegangan referensi ini menentukan tegangan input maksimum ADC dan hasil konversi ADC. Beberapa pilihan tegangan referensi yaitu pada pin AREF, pada

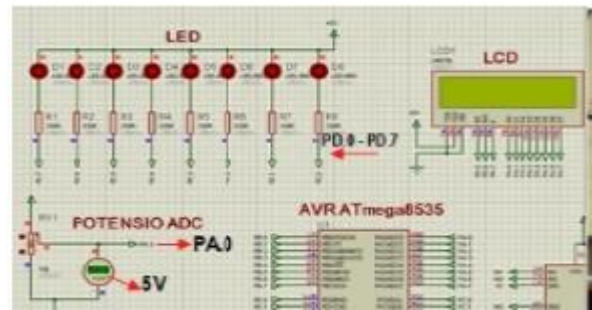
pin AVCC, atau menggunakan tegangan referensi internal sebesar 2,56 volt. Pada ADC diperlukan frekuensi clock untuk proses konversi tegangan analog menjadi digital. Pemilihan clock ADC berdasarkan nilai prescaler ADC dalam I/O register ADCSRA. Dari gambar 4a dan 4b dapat dilihat Potensiometer berfungsi sebagai sensor analog yang terhubung ke PA.0 dengan tegangan potensiometer sebesar 5V. Setiap kenaikan pada potensiometer tampilan LED yang terhubung pada PD.0 – PD.7 akan berubah. Selanjutnya dilakukan perhitungan dalam desimal dengan rumus berikut:

$$V_{digital} = \frac{V_{ukur}}{V_{cc}} \times 255 \quad (1)$$

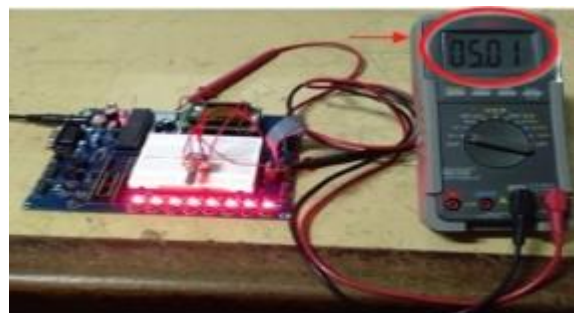
Contoh: tegangan analog yang diukur 1V, maka tegangan digital adalah:

$$V = \frac{1}{5} \times 255 \quad (2)$$

$$= 51 \text{ desimal atau } 33H \text{ atau } 00110011B$$



Gambar 5a. Aplikasi ADC menggunakan simulasi



Gambar 5b. Aplikasi ADC menggunakan modul praktikum

Hasil pengujian aplikasi ADC menggunakan rangkaian simulasi dan modul praktikum dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan hasil pengujian pengontrolan LED dengan potensiometer menggunakan rangkaian simulasi dan modul praktikum

| Tegangan Analog (0-5V) | Tampilan LED (bit7-bit0) Rangkaian Simulasi | Nilai Desimal ADC Rangkaian Simulasi | Tampilan LED (bit7-bit0) Modul Praktikum |
|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| 0                      | 00000000                                    | 0                                    | 00000000                                 |
| 0.5                    | 00011001                                    | 25                                   | 00011100                                 |
| 1.0                    | 00110011                                    | 51                                   | 00111010                                 |
| 1.5                    | 01001100                                    | 76                                   | 01001100                                 |
| 2.0                    | 01100110                                    | 102                                  | 01100101                                 |



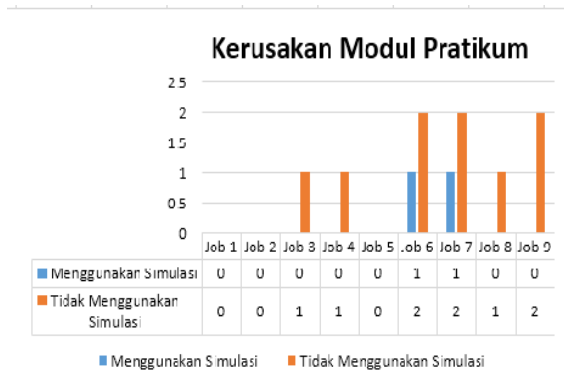
|     |          |     |          |
|-----|----------|-----|----------|
| 2.5 | 10000000 | 128 | 01111111 |
| 3.0 | 10011001 | 153 | 10011001 |
| 3.5 | 10110011 | 179 | 10110010 |
| 4.0 | 11001100 | 204 | 11001100 |
| 4.5 | 11100110 | 230 | 11100110 |

| Nilai Desimal ADC Modul Praktikum | Nilai Digital Perhitungan (Desimal) | Error Hasil Perhitungan Digital dengan Rangkaian Simulasi (%) | Error Hasil Perhitungan Rangkaian Simulasi dengan Modul Praktikum (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 0                                 | 0                                   | 0                                                             | 0                                                                     |
| 28                                | 22.5                                | 11.11                                                         | 10.71                                                                 |
| 58                                | 51                                  | 0                                                             | 12.06                                                                 |
| 76                                | 76.5                                | 0.65                                                          | 0                                                                     |
| 101                               | 102                                 | 0                                                             | 0.99                                                                  |
| 127                               | 127.5                               | 0.39                                                          | 0.78                                                                  |
| 153                               | 153                                 | 0                                                             | 0                                                                     |
| 178                               | 178.5                               | 0.28                                                          | 0.56                                                                  |
| 204                               | 204                                 | 0                                                             | 0                                                                     |
| 230                               | 229.5                               | 0.21                                                          | 0                                                                     |
| 255                               | 255                                 | 0                                                             | 0                                                                     |
| Rata-rata Error                   |                                     | 1.149                                                         | 1.96                                                                  |

Pada tabel 3 menunjukkan hasil pengujian dan pengukuran antara rangkaian simulasi dengan modul praktikum dan rangkaian simulasi dengan hasil perhitungan sedikit ada perbedaan dengan rata-rata kesalahan 1.149% dan 1.96%. Dari tabel 3 juga dapat dilihat error terbesar pada saat pengukuran tegangan analog 1.0V antara rangkaian simulasi dan modul praktikum, hal ini disebabkan potensiometer yang digunakan kurang linear. Secara keseluruhan rangkaian simulasi yang dibuat untuk aplikasi ADC berjalan dengan baik.

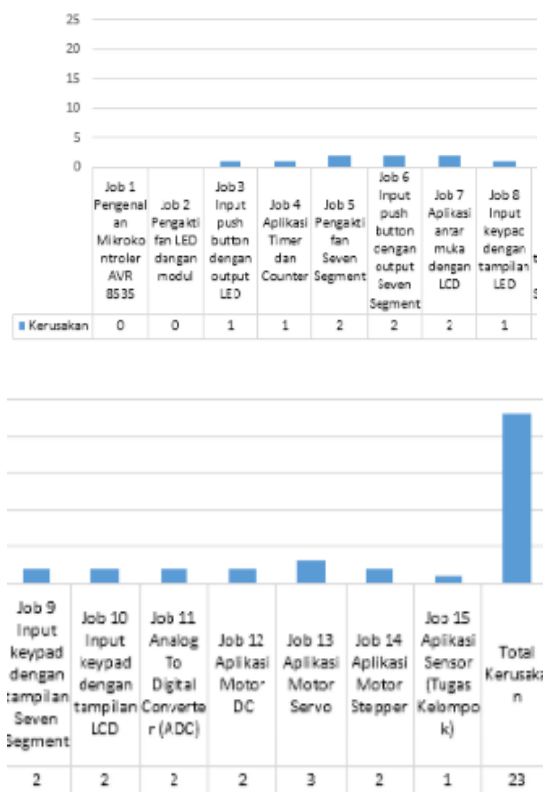
### 3.3 Pengujian Tingkat Kerusakan Modul Praktikum

Rangkaian simulasi yang telah dibuat ini kemudian kami lakukan pengujian kepada dua kelas yang berbeda untuk melihat tingkat kerusakan pada modul praktikum pada setiap kegiatan praktikum dengan sampel terdiri dari 2 kelas, kelas A Teknik Elektronika dan Kelas B Teknik Elektronika masing-masing sebanyak 25 orang kemudian dibagi menjadi 12 kelompok praktikum. Kelompok kelas A diberi perlakuan dengan menggunakan rangkaian simulasi dalam kegiatan praktikum, sedangkan pada kelompok kelas B adalah non eksperimen dan tidak beri perlakuan Pengujian dilakukan sebanyak 9 Job praktikum dari 15 job, modul praktikum yang digunakan dalam kondisi baik sesuai standar pada service manual. Hasil pengujian mahasiswa yang menggunakan rangkaian simulasi tingkat kerusakan modul praktikum nya lebih kecil dari yang tidak menggunakan, seperti terlihat grafik pada gambar 6.



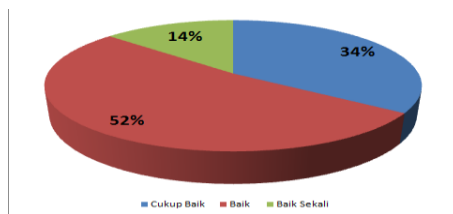
Gambar 6. Grafik perbandingan kerusakan modul

Dari gambar 6 juga dapat dilihat kelas mahasiswa yang tidak menggunakan rangkaian simulasi setiap kegiatan praktikum modul praktikum yang digunakan mengalami kerusakan rata-rata 1 kerusakan setiap kegiatan praktikum. Pada tahun ajaran 2018/2019 mulai diterapkan, dengan memasukan pada Rencana Program dan Kegiatan Pembelajaran Semester (RPKPS) mahasiswa yang melaksanakan praktikum diwajibkan mengujicobakan program yang mereka buat pada simulasi rangkaian. Dari grafik gambar 7 dapat dilihat kerusakan pada tahun ajaran 2018/2019 sebanyak 23 kerusakan.



Gambar 7. Grafik kerusakan modul praktikum Tahun Ajaran 2018/2019

Jika dibandingkan dengan kerusakan modul praktikum pada tahun ajaran 2016/2017 seperti tabel 2, terjadi penurunan kerusakan sebesar 57,60%. Selain penurunan tingkat kerusakan simulasi rangkaian modul praktikum ini juga meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem mikrokontroler. Tanggapan mahasiswa mengenai Simulasi rangkaian modul praktikum ini menggunakan alat kuesioner dilakukan untuk mengukur tingkat kepuasan mahasiswa terhadap rangkaian simulasi ini. Responden dari survei ini adalah mahasiswa yang telah mengikuti kegiatan praktikum sistem mikrokontroler dan interface 2. Pertanyaan-pertanyaan pada kuesioner ditujukan untuk mengevaluasi hasil simulasi, dan untuk mengetahui manfaat utama yang diperoleh dari pelaksanaan metode simulasi ini. Tanggapan mahasiswa mengenai Simulasi rangkaian modul praktikum ini dapat digambarkan dengan diagram lingkaran seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik tanggapan mahasiswa mengenai rangkaian simulasi

#### Daftar Rujukan

- [1] Microchip Product, 2006. ATmega8535 - Complete Datasheet [Online] (Updated 10 Jan 2006) Tersedia di [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2502.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2502.pdf). [Accessed 9 April 2019]
- [2] Trundle KC, Bell RL, 2010. The use of a computer simulation to promote conceptual change: a quasi Experimental study. *Computers&Education* 54:1078-1088.
- [3] de Jong T, van Joolingen WR, 1998. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*; 68:179-201.
- [4] Perkins K, Adams W, Dubson M, Finkelstein N, Reid S, Wieman C. PhET, 2006. interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*; 44:18-23.
- [5] Wieman CE, Perkins KK, Adams WK. Oersted medal lecture, 2007. Interactive simulations for teaching physics: what works, what doesn't, and why. *American Journal of Physics* 2008; 76:393-399.
- [6] Rutten, Nico Van Joolingen, Wouter R. Van Der Veen, Jan T, 2012. The learning effects of computer simulations in science education.; 58:1:136-153.
- [7] Su, Bo, Wang, Li. Application of Proteus Virtual System Modelling (VSM) in teaching of microcontroller, 2010. *International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies*, EDT; 2: 375-378
- [8] Čika, D Grundler, D. Proteus Virtual System Modelling used for microcontroller education. MIPRO, 2010. *Proceedings of the 33rd International Convention.*; 1034 – 1038.
- [9] B. Deaky, N.B. Lupulescu, D. Ursutiu, 2011. Extended Educational Use of the Microcontroller Student Learning Kit (MCU SLK). *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. Amman-Jordan.
- [10] Cruz, Pedro Ponce Gutiérrez, Arturo Molina, 2010. LabVIEW for intelligent control research and education. *Proceedings - ICELIE 2010, 4th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics.*; 47-54.
- [11] Pradesh, Andhra Engineering, 2013. Real-Time Digital Simulation of Control System With Labview Simulation Interface Toolkit and Simulation Module. *Proceedings of the 26th Chinese Control Conference July 26-31, Zhangjiajie, Hunan, China.*; 1:6:23-28.
- [12] Yang-Mei, Li Bo, Cai, 2014. Electronic circuit virtual laboratory based on LabVIEW and multisim. *Proceedings - 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA* ; 222-225.
- [13] Chen, Juntong Yang, Shujie, 2011. Application of proteus software in MCU teaching. *2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, MACE 2011 – Proceedings. 2011; 6359 – 6362.
- [14] Meena, P. Rao, K. Uma, 2010. E-Learning in Signals, systems and Signal processing through Matlab/Simulink. *Proceedings - IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, SIBIRCON*; 417-420.
- [15] Papazoglou, Panayotis Moschos, Anastasios, 2017. OpenHardSim: An open source hardware based simulator for learning microprocessors. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*.: 157-160.

#### 4. Kesimpulan

Rangkaian simulasi ini dibuat berdasarkan dari modul praktikum AVR yang digunakan pada kegiatan praktikum sistem mikrokontroler dan interfacing 2. Pembuatan simulasi rangkaian modul praktikum mikrokontroler AVR untuk meminimalisir kerusakan modul praktikum. Terjadi penurunan kerusakan sebesar 57,60%. Selain penurunan tingkat kerusakan simulasi rangkaian modul praktikum ini juga meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem mikrokontroler Dengan adanya software simulasi ini program yang telah dibuat dapat diisikan terlebih dahulu ke simulasi rangkaian modul mikrokontroler AVR. Jadi hanya program yang benar-benar betul yang diisikan ke modul praktikum, sehingga dapat memperpanjang life time modul praktikum tersebut serta dapat membantu dosen dalam mengembangkan materi perkuliahan. Untuk penelitian selanjutnya akan dikembangkan rangkaian simulasi yang terintegrasi dengan laboratorium virtual Berbasis online.