

Kinerja Prototipe Sistem Elektronis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 Untuk Pemantauan Analogi Instalasi Listrik

Arief Goeritno*¹, Ritzkal², Ayumi Johan³

¹ Dosen Tetap (NIDN: 0430016301), Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Otomasi Jurusan/Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

³ Alumni Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

E-mail: arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

Abstrak –Pada penelitian ini dirancang prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler untuk pemantauan analogi instalasi listrik, berupa sistem terintegrasi dalam satu paket modul berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3. Sistem terintegrasi terdiri atas (1) analogi instalasi listrik; (2) sistem elektronis berupa (i) subsistem sensor-transduser, (ii) subsistem mikrokontroler, dan (iii) subsistem Liquid Crystal Display (LCD); dan (3) catu daya. Setiap fase dipasang sensor untuk pemantauan keberadaan tegangan melalui pengubahan parameter tegangan bolak-balik (alternating current, ac) ke parameter tegangan arus searah (direct current, dc) melalui sistem sensor-transduser. Keluaran sistem sensor-transduser diproses pada mikrokontroler dan hasil pemantauan ditampilkan pada LCD. Pengukuran kinerja sistem dilakukan terhadap lima kondisi akibat pemberian asumsi perubahan pada MCB dan pemantauan jalur instalasi untuk ruang khusus.

Kata kunci : analogi instalasi listrik; berbasis mikrokontroler; kinerja prototipe sistem elektronis.

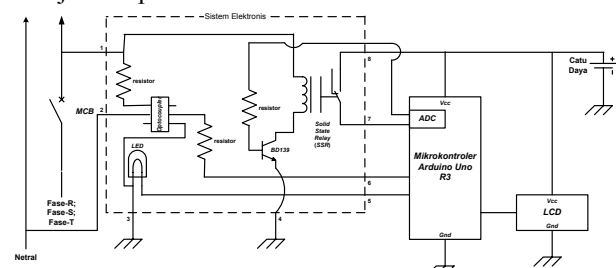
Abstract – *In this study, a prototype designed a microcontroller based electronic system for monitoring the analogy of electrical installations, such as an integrated system in a single package module-based microcontroller Arduino Uno R3. Integrated system consisting of (1) the analogy of electrical installations; (2) The electronic system in the form of (i) the sensor subsystem-transducers, (ii) a microcontroller subsystem, and (iii) subsystem Liquid Crystal Display (LCD); and (3) the power supply. Each phase is installed sensor for sensing the presence of voltage by changing the parameters of an alternating voltage (alternating current, AC) to direct current voltage parameters (direct current, dc) through a sensor-transducer system. Sensor-transducer system output is processed in the microcontroller and the results displayed on the LCD monitor. The performance measurement system is carried out on five conditions due to changes in assumptions Award MCB and monitoring of the installation path for a specific room.*

Keywords : *analogy of electrical installations; based microcontroller; the performance of the prototype electronic system.*

I. PENDAHULUAN

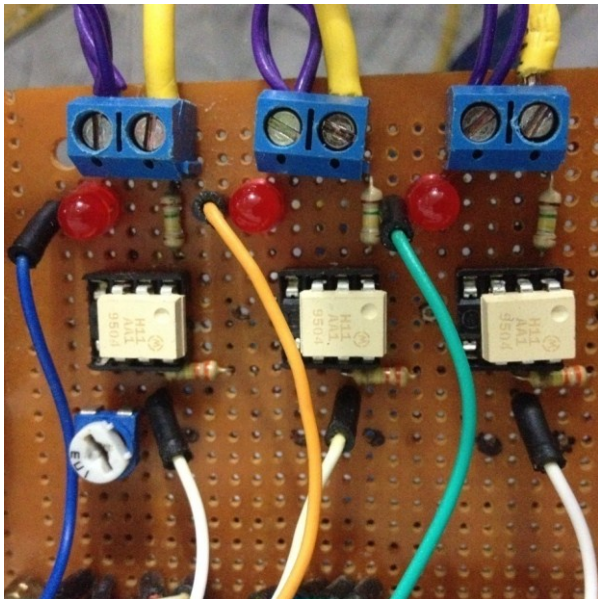
Keberadaan sistem elektronis (Tooley, 2006d) berbasis sejumlah komponen elektronika (Tooley, 2006a) atau pengontrol mikro atau mikrokontroler (Tooley, 2006c), maupun berbantuan komputer personal telah dimanfaatkan untuk pemantauan instalasi listrik (Kitcher, 2008) melalui *miniature circuit breaker* atau *MCBs* (Warne, 2005; Bayliss, 2007; Smeet, 2014). Tahapan uji verifikasi terhadap prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler untuk pemantauan instalasi listrik (Johan, 2016) sebagai upaya perolehan bentuk fisis rangkaian elektronika terintegrasi. Uji verifikasi dilakukan melalui simulasi rangkaian (Tooley, 2006b) berbantuan program aplikasi *Proteus* (Proteus2010, 1998). Penyempurnaan terhadap subsistem sensor-transduser (Bishop, 2003b) pada prototipe sistem elektronis (Johan, 2016), berupa pemanfaatan terhadap sejumlah komponen elektronika, yaitu *optocoupler* (Boylestad, 2013d), resistor (Linsley, 2005), transistor BD139 (Baskhi, 2009; Boylestad, 2013b), *Light Emitting Diode* (Tooley, 2006a; Boylestad, 2013a), dan *solid state*

relay (Bergsman, 1994). Subsistem sensor-transduser hasil penyempurnaan tersebut diintegrasikan terhadap subsistem mikrokontroler (Tooley, 2006c) dan *LCD* (Boylestad, 2013c) untuk pembentukan prototipe sistem elektronis. Diagram skematis prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk pemantauan analogi instalasi listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



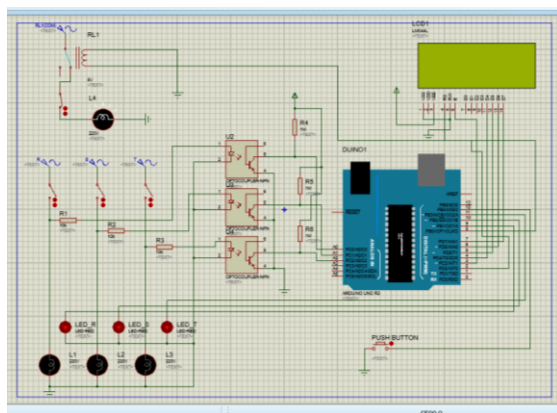
Gambar 1 Diagram skematis sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk pemantauan analogi instalasi listrik

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa integrasi sistem terdiri atas a) sistem analogi instalasi listrik, b) prototipe sistem elektronis berupa integrasi dari (i) subsistem sensor-transduser, (ii) subsistem mikrokontroler, (iii) subsistem *Liquid Crystal Display (LCD)*, dan c) sistem catu daya. Setiap fase pada sistem analogi instalasi dipasang sensor-transduser (Bishop, 2003b) untuk pemantauan keberadaan tegangan melalui pengubahan parameter tegangan bolak-balik (*alternating current, ac*) ke parameter tegangan arus searah (*direct current, dc*) seperti proses penyearahan (Bishop, 2003a). Bentuk fisis sensor-transduser, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk fisis sensor-transduser

Keluaran subsistem sensor-transduser sebagai masukan (*input*) dan diproses pada mikrokontroler (Tooley, 2006c), sedangkan olahan hasil pemantauan ditampilkan pada *LCD* (Boylestad, 2013c). Diagram pengawatan integrasi sistem berbantuan program aplikasi *Proteus* (Proteus2000, 1998), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram pengawatan integrasi sistem berbantuan program aplikasi *Proteus*

Sensor pendeteksi kondisi difungsikan untuk setiap perubahan yang terjadi di *miniature circuit breaker*

(*MCB*) satu *pole* (Warne, 2005; Bayliss, 2007; Smeets, 2014) sebagai analogi masing-masing fase pada sistem instalasi listrik fase-tiga (Wadhwa, 2007; Maxfield, 2008, Kitcher, 2008). Indikator pada subsistem sensor-transduser berupa *LED*, dimana saat menyala (*ON*) untuk kondisi *MCB* dalam keadaan tidak terhubung (*OFF*) atau saat tidak menyala (*OFF*) untuk kondisi *MCB* dalam keadaan terhubung (*ON*). Keluaran sensor-transduser (Bishop, 2003b) untuk masing-masing fase-tunggal pada analogi instalasi listrik sebagai masukan yang tersambung ke sistem mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011; Margolis, 2011) dan ditampilkan pada *LCD* (Boylestad, 2013c). Pemantauan terhadap sistem tersebut merupakan hasil dari keberadaan algoritma yang telah dibuat untuk pemrograman mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011; Margolis, 2011), dimana dalam algoritma tersebut meliputi tiga hal utama, yaitu tampilkan indikasi sensor-transduser, ambil dan kirim data, dan keluaran (Johan, 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan pabrikan terhadap prototipe sistem elektronis dalam bentuk fisis sistem terintegrasi secara elektronis dan pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011), sehingga dapat dilakukan pengukuran kinerja prototipe sistem untuk pemantauan kondisi pada analogi instalasi listrik dan pengukuran nilai tegangan. Pengukuran kinerja terhadap prototipe didasarkan kepada 5 (lima) kondisi, yaitu (i) *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T dalam kondisi *OFF*, (ii) *MCB* fase-S saja dalam kondisi *ON*, (iii) *MCB* fase-R dan fase-T dalam kondisi *ON*, (iv) *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T dalam kondisi *ON*, dan (v) kondisi pemantauan terhadap jalur ke ruangan khusus.

II. BAHAN-ALAT DAN METODE PENELITIAN

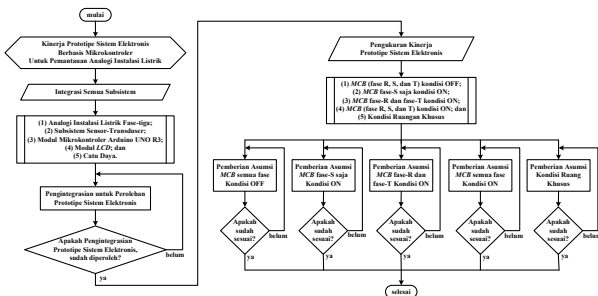
Bahan penelitian berupa analogi instalasi listrik fase-tiga dan beban listrik berupa lampu pendar, seperangkat prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 yang telah ditanamkan program aplikasi berbasis bahasa *BasCom* (The MCS Electronics Team, 2008), dan catu daya. Alat penelitian berupa multimeter yang diposisikan pada skala tegangan 500 volt *ac*, sehingga batas maksimum tegangan ukur sebesar 500 volt. Tampilan pada multimeter, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan pada multimeter

Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan untuk pencapaian dan sesuai dengan tujuan penelitian. Terdapat dua tahapan, yaitu: (a) pengintegrasian semua subsistem dan (b) pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis. Pengintegrasian merupakan tahapan yang disesuaikan terhadap hasil uji verifikasi yang telah diperoleh (Johan, 2016), sedangkan pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis berupa pemberian kondisi berbeda terhadap sistem sensor-transduser melalui pemberian kondisi buatan berupa perubahan posisi MCB masing-masing fase. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram alir metode penelitian

III. HASIL DAN BAHASAN

Pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis berbantuan mikrokontroler Arduino UNO R3 dilakukan melalui pengintegrasian semua subsistem dan pemberian kondisi berbeda terhadap sensor-transduser melalui perubahan posisi MCB masing-masing fase, yaitu: (1) pengkondisian OFF terhadap MCB fase-R, fase-S, dan fase-T, (2) pengkondisian ON terhadap MCB fase-S, (3) pengkondisian ON terhadap MCB fase-R dan fase-T, (4) pengkondisian ON terhadap MCB fase-R, fase-S, dan fase-T, dan (5) pengkondisian terhadap jalur ke ruang khusus.

Integrasi Sistem Elektronis

Integrasi sistem terdiri atas: a) analogi instalasi listrik dan b) prototipe sistem elektronis dengan tiga subsistem, yaitu: (i) subsistem sensor-transduser, subsistem mikrokontroler, dan subsistem LCD. Integrasi fisis subsistem-subsistem untuk keberadaan prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler ATmega32, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Integrasi fisis subsistem-subsistem untuk keberadaan prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler ATmega32

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa integrasi fisis susbsistem-subsistem, agar dapat

dilakukan pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis. Analogi instalasi listrik fase-tiga diwakili oleh tiga buah MCB kutub-tunggal (*single-pole*) sebagai analogi fase-R, fase-S, dan fase-T. Saklar ON-OFF digunakan untuk penghubungan tegangan listrik ke lampu pendar (TL) sebagai beban listrik per fase. Setiap fase dipasang sensor-transduser untuk pemantauan kondisi instalasi listrik masing-masing fase. Perubahan kondisi pada jalur instalasi listrik ditampilkan pada LCD. Jalur ruang khusus dipantau melalui perubahan posisi saklar yang terdapat ruang khusus tersebut dan dapat dikendalikan dari ruang kontrol.

A. Pengkondisian OFF terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Tampilan hasil pada pengkondisian OFF terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



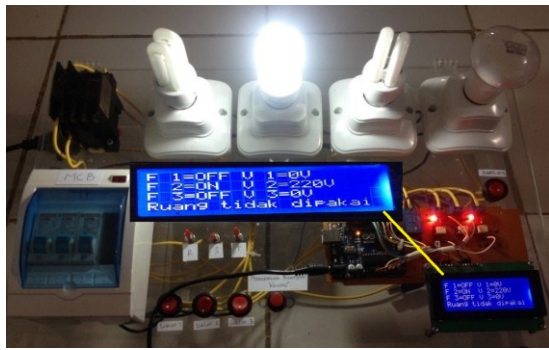
Gambar 7 Tampilan hasil pengkondisian OFF terhadap MCB fase R, fase-S, dan fase-T

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian OFF (tidak diberi sumber tegangan) terhadap MCB fase-R, fase-S, dan fase-T, maka ketiga lampu pendar (*Tubelar Lamp, TL*) dalam keadaan tidak berpendar dan tampilan pada LCD berupa kondisi OFF untuk fase-R (F 1), fase-S (F 2), dan fase-T (F 3), tegangan tertampilkan 0 volt, dan untuk pemantauan ruangan khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai 0 volt tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya penunjukan indikasi sistem tidak bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada jalur MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T tidak diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi dan nilai tegangan pada jalur MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T tidak diberi tegangan

| MCB | Lampu Pendar (TL) | | Tampilan pada Alat Ukur |
|--------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Kondisi | Nilai Tegangan (volt) | |
| Fase-R | OFF | 0 | |
| Fase-S | OFF | 0 | |
| Fase-T | OFF | 0 | |

Pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S berupa pemberian sumber tegangan 220 volt, maka lampu untuk fase-S menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan bahwa fase-S (F 2) kondisi ON. Untuk fase-R dan fase-T kondisi OFF dan lampu tidak menyala karena tidak terdapat tegangan dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai tegangan 220 volt pada LCD tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya berupa penunjukan indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase R diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kondisi dan nilai tegangan pada jalur MCB untuk fase-S diberi tegangan

| MCB | Lampu Pendar (TL) | | Tampilan pada Alat Ukur |
|--------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Kondisi | Nilai Tegangan (volt) | |
| Fase-R | OFF | 0 | 000 |
| Fase-S | ON | 214 | 214 |
| Fase-T | OFF | 0 | 000 |

Pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase R dan fase-T

Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase R dan fase-T

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap MCB fase-R dan fase-T dengan pemberian tegangan, maka lampu pada fase-R dan fase-T menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan fase-R (F 1) dan fase-T (F 3) kondisi ON, tegangan ditampilkan 220 volt. Untuk fase-S kondisi OFF lampu tidak menyala, karena tidak terdapat tegangan dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan ruang tidak dipakai. Nilai tegangan 220 volt tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya penunjukan indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R dan fase-T diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kondisi dan nilai tegangan pada fase-R dan fase-T diberi tegangan

| MCB | Lampu Pendar (TL) | | Tampilan pada Alat Ukur |
|----------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Kon disisi | Nilai Tegangan (volt) | |
| Fase - R | ON | 213 | 213 |
| Fase -S | OFF | 0 | 000 |
| Fase -T | ON | 218 | 218 |

Pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap ketiga MCB fase-R, fase-S, dan fase-T berupa pemberian tegangan, maka ketiga lampu pendar menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan, bahwa fase-R (F 1), fase-S (F 2), dan fase-T (F 3) kondisi ON, tegangan ditampilkan 220 volt dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai tegangan 220 volt pada LCD bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R, fase-S, dan fase-T diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R, fase-S, dan fase-T diberi tegangan

| MCB | Lampu Pendar (TL) | | Tampilan pada Alat Uku |
|--------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| | Kondisi | Nilai Tegangan (volt) | |
| Fase-R | ON | 220 | 220 |
| Fase-S | ON | 221 | 221 |
| Fase-T | ON | 219 | 219 |

Pengkondisian terhadap Ruang Khusus

Tampilan hasil pengkondisian terhadap ruang khusus saat “ruang dipakai”, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Tampilan hasil pengkondisian ruang khusus dipakai

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian terhadap ruang khusus dengan tampilan pada LCD “ruang dipakai” dan lampu pada ruang khusus menyala, semua MCB pada fase-R, fase-S, dan fase-T pada kondisi ON, tetapi lampu pada jalur ketiga fase tersebut tidak dinyalakan. Jalur ke ruang khusus dianalogikan dapat diputushubungkan dari saklar pada ruang kontrol melalui saklar. Untuk kondisi dimana dikehendaki lampu pada ruang khusus menyala, dapat dilakukan perubahan posisi saklar pada ruang khusus dengan syarat saklar pada ruang kontrol dalam kondisi ON. Kondisi dan nilai tegangan pada ruang khusus saat “ruang dipakai”, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kondisi dan nilai tegangan pada ruang khusus saat “ruang dipakai”

| Push Buttom | Lampu Pijar | | Tampilan pada Alat Ukur |
|--------------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| | Kondisi | Nilai Tegangan (volt) | |
| Ruang Khusus | Ruang Dipakai | 227 | 227 |

Tampilan hasil pengkondisian terhadap ruang khusus saat “ruang tidak dipakai”, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Tampilan hasil pengkondisian ruang khusus saat “ruang tidak dipakai”

Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian terhadap ruang khusus dengan tampilan pada LCD “ruang tidak dipakai” dan lampu pada ruang khusus tidak menyala, semua MCB pada fase-R, fase-S, dan fase-T pada kondisi ON, tetapi lampu pendar pada jalur ketiga fase tersebut tidak dinyalakan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Integrasi keberadaan sistem berupa analogi instalasi listrik fase-tiga diwakili oleh 3 (tiga) buah MCB kutub-tunggal (single-pole) sebagai analogi fase-R, fase-S, dan fase-T. Saklar digunakan untuk perubahan posisi (ON-OFF) untuk penghubungan lampu pendar (TL) sebagai beban listrik ke sumber tegangan listrik per fase. Setiap fase dipasang sensor-transduser untuk pemantauan kondisi instalasi listrik masing-masing fase. Perubahan kondisi pada MCB diasumsikan untuk ketiga fase OFF, fase-S ON, fase-R dan fase-T ON, dan ketiga fase ON, sedangkan perubahan posisi saklar yang terdapat ruang khusus tersebut dan dapat dikendalikan dari ruang control. Semua perubahan kondisi ditampilkan pada LCD dan dilakukan pengukuran nilai tegangan pada jalur-jalur yang dipantau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bakshi, U.A., A.P Godse, (2009), “Analog and Digital Electronics”, Technical Publication Pune, pp. 1.40-1.41.
- [2] Bayliss, Colin R. and Brian J. Hardy (editor), (2007), “Fuse and Miniature Circuit Breakers”, in *Transmission and Distribution Electrical Engineering*, Elsevier Inc., pp. 363-373.
- [3] Bishop, Owen, (2003a), “Understand Electronics”, Newnes, pp. 103-109.
- [4] Bishop, Owen, (2003b), “Understand Electronics”, Newnes, pp. 114-130.
- [5] Bergsman, Paul, (1994), “Controlling the World with Your PC”, Elsevier Inc., pp. 37
- [6] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013a), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 38-42.
- [7] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013b), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 113-115.
- [8] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013c), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 831-833.

-
- [9] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013d), “*Electronic Devices and Circuit Theory*”, Pearson Education, Inc., pp. 873-875.
- [10] Durfee, William, (2011), “*Arduino Microcontroller Guide*”, Course Material, University of Minnesota, pp. 1-27.
- [11] Johan, Ayumi, Arief Goeritno, Ritzkal, (2016), “Prototipe Sistem Elektronis Berbasis Mikrokontroler Untuk Pemantauan Instalasi Listrik”, *Prosiding SNTI FTI-Usakti V-2016*, hal. 324-330.
- [12] Kitcher, Christopher, (2008), “*Practical Guide to Inspection, Testing and Certification of Electrical Installations*”, Elsevier Ltd., pp. 149-156.
- [13] Linsley, Trevor, (2005), “*Basic Electrical Installation Work*”, Elsevier Ltd., pp. 45-49.
- [14] Margolis, Michael, (2011) “*Arduino Cookbook*”, O’Reilly Media Inc., pp. 15-18.
- [15] Maxfield, Clive, et.al., (2008), “*Electrical Engineering*”, Elsevier Inc., pp. 160-162
- [16] Proteus2000, (1998), “*Proteus 2000 Operations Manual*”, E-MU Systems, Inc., pp. 131-164.
- [17] Smeets, Rene, et.el. (2014), “*Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems*”, Wiley, pp. 8.
- [18] The MCS Electronics Team, (2008), “*BASCOM-AVR User Manual Introduction*”, MCS Electronics, pp. 222-252.
- [19] Tooley, Mike, (2006a), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 287-292.
- [20] Tooley, Mike, (2006b), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 303-309.
- [21] Tooley, Mike, (2006c), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 313-324.
- [22] Tooley, Mike, (2006d), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 327-335.
- [23] Wadhwa, C.L., (2007), “*Basic Electrical Engineering*”, New Age International (P) Limited, pp. 160-163.
- [24] Warne, D.F., (2005), *Newnes Electrical Power Engineer's Handbook*, Elsevier Inc. - Newnes, pp. 180-189.