

# Implementasi *Murray-Varley Bridge* Berbasis Mikrokontroler untuk Mendeteksi Letak Hubung Singkat (*Short Circuit*) Kabel Listrik

Isa Rachman, Lilik Subiyanto  
Teknik Kelistrikan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Surabaya, Indonesia  
email : ics.isarachman@gmail.com

**Abstract**— *Korsleting atau hubung singkat (short circuit) adalah salah satunya jenis gangguan yang terjadi pada kabel listrik. Hubung singkat kabel listrik mampu memicu terjadinya ledakan bahkan kebakaran hebat. Investigasi atas suatu kasus kebakaran perlu dilakukan oleh pihak terkait untuk menemukan akar penyebab terjadinya kebakaran yang membutuhkan waktu cukup lama (kurang lebih tiga bulan). Hal ini disebabkan karena sumber daya investigasi yang digunakan masih berupa peralatan sederhana dan terbatas. Pada penelitian ini dibahas mengenai implementasi sebuah sistem berbasis mikrokontroler yang mampu mendeteksi jarak atau letak hubung singkat kabel listrik sebagai penyebab utama terjadinya kebakaran dengan metode Murray-Varley Bridge. Dari hasil dan pembahasan didapatkan bahwa pendeteksian letak hubung singkat kabel listrik dengan sistem ini dapat dilakukan secara cepat, praktis dan memiliki rata-rata tingkat akurasi sebesar 99.08 % dengan rata-rata tingkat kesalahan (error) sebesar 0.92 %. Error tersebut dihasilkan karena adanya resistansi internal yang terdapat pada setiap komponen di dalam sistem.*

**Keywords**— *hubung singkat; kabel listrik; letak; kebakaran; Murray-Varley Bridge.*

## I. PENDAHULUAN

Sebagian besar kasus kebakaran pemukiman disebabkan karena korsleting atau hubung singkat kabel listrik. Sebagai contoh, 63.84 % penyebab kebakaran pemukiman di Provinsi DKI Jakarta selama kurun waktu 2017 diakibatkan karena korsleting kabel listrik. Secara teknis, hubung singkat terjadi ketika konduktor bertegangan didalam kabel listrik saling terhubung satu dengan yang lainnya. Kondisi ini memicu terjadinya aliran arus yang sangat besar. Karena energi yang dilewatkan terlampaui besar, maka kabel listrik tidak mampu mendisipasi dengan sempurna. Akibatnya timbullah panas berlebih dalam waktu singkat. Fenomena munculnya panas ini disertai dengan ledakan kuat dengan suhu yang sangat tinggi dan dapat memporak-porandakan lingkungan sekitarnya.

Dinas Pemadam Kebakaran sebagai unsur pelaksana pemerintah daerah bertanggung jawab untuk melakukan investigasi dan membuat rekomendasi atas suatu kasus kebakaran. Investigasi kebakaran perlu dilakukan untuk menemukan akar penyebab terjadinya kebakaran sehingga dapat dibuat rekomendasi tindakan perbaikan dan pencegahan kebakaran yang cepat dan tepat. Dinas Pemadam Kebakaran menggunakan teknik investigasi kebakaran berupa metode ilmiah yang telah diuji dan banyak dipergunakan. Sedangkan sumber daya investigasi kebakaran yang digunakan masih

berupa peralatan sederhana dan terbatas. Hal inilah yang menjadi salah satu penyebab proses investigasi yang dilakukan oleh Dinas Pemadam Kebakaran membutuhkan waktu yang cukup lama (kurang lebih tiga bulan).

Untuk menunjang kinerja Dinas Pemadam Kebakaran, maka dibutuhkan suatu sistem yang mampu menentukan secara cepat dan tepat letak hubung singkat kabel listrik sebagai titik api awal pemicu kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sebuah sistem yang mampu mendeteksi letak hubung singkat kabel listrik. Sistem diimplementasikan dengan menggunakan sensor tegangan listrik dan sensor arus listrik ACS712 serta berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan simulasi rangkaian menggunakan *software* Proteus dan simulasi grafis menggunakan *software* Matlab. Jarak atau letak hubung singkat kabel listrik ditentukan sesuai dengan prinsip keseimbangan nilai resistansi pada *Murray-Varley Bridge* menggunakan galvanometer. Untuk mengetahui tingkat akurasi, maka nilai resistansi yang didapatkan dibandingkan dengan Ohmmeter sebagai alat ukur acuannya.

## II. DASAR TEORI

### A. *Korsleting atau hubung singkat (short circuit)*

*Korsleting atau hubung singkat (short circuit)* adalah salah satu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Menurut IEC 60909, hubung singkat adalah hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. Penyebab terjadinya hubung singkat yaitu,

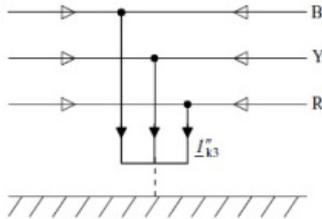
1. Hubungan kontak langsung dengan konduktor bertegangan
2. Suhu lebih karena arus atau beban lebih
3. Pelepasan (*discharge*) elektron karena tegangan lebih
4. Busur (*arcing*) pada isolator karena pengembunan bersama dengan udara.

Adanya hubung singkat dapat membahayakan keselamatan, terputusnya suplai tenaga listrik dan kerusakan peralatan listrik karena peningkatan tekanan termal dan mekanis yang tidak dapat ditoleransi. Jenis-jenis hubung singkat yaitu,

#### 1. Hubung singkat simetris

Terjadi pada sistem tiga fasa yaitu, ketiga konduktor yang berarus terhubung singkat secara bersamaan. Hubung singkat ini hanya untuk hubung singkat tiga fasa dengan atau tanpa ke tanah. Hanya 5 % dari total kejadian

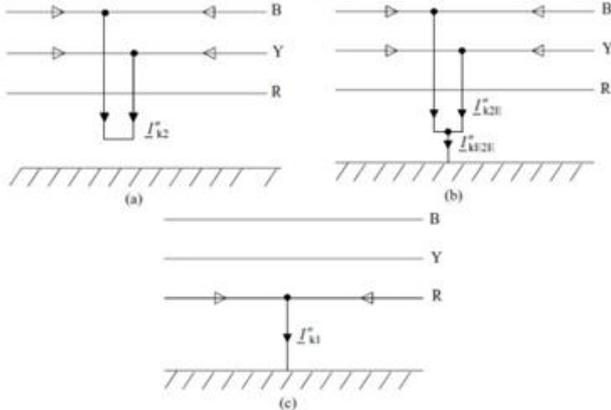
gangguan hubung singkat merupakan hubung singkat tiga fasa.



Gambar 1. Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.

2. Hubung singkat tidak simetris

Terjadi pada sistem satu fasa dan sistem tiga fasa yaitu, diantara konduktor yang berarus dengan atau tanpa ke tanah. Hubung singkat ini dikelompokkan atas fasa ke fasa tanpa ke tanah, fasa ke fasa dengan ke tanah dan fasa ke tanah (80 % dari total kejadian gangguan hubung singkat).

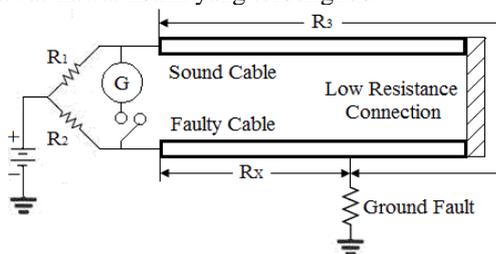


Gambar 2. a) Fasa ke Fasa. b) Fasa-Fasa ke Tanah. c) Fasa ke Tanah.

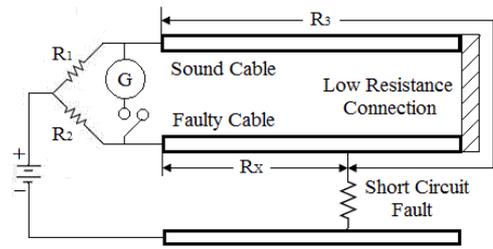
Arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan metode impedansi, komposisi, konvensional atau komponen simetris. [1]

B. Murray-Varley Bridge

Wheatstone Bridge yang diparalelkan sering digunakan untuk menentukan jenis gangguan pada kabel listrik berupa gangguan pentanahan (*ground fault*) atau gangguan hubung singkat (*short circuit fault*) dengan menggunakan metode Murray-Varley Bridge. Metode Murray Bridge yang paling banyak digunakan untuk menemukan gangguan pentanahan di dalam kawat-kawat listrik yang terbungkus.



Gambar 3. Murray Bridge Gangguan Pentanahan.



Gambar 4. Murray Bridge Gangguan Hubung Singkat.

Persamaan resistansi kabel listrik yang mengalami gangguan,  $R_x$  sebagai berikut,

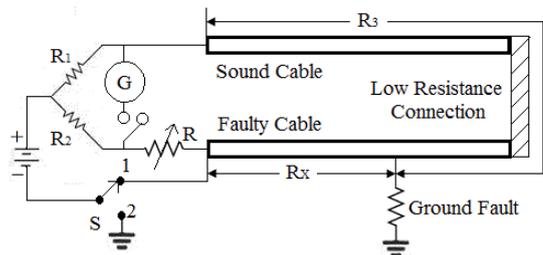
$$R_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (R_3 + R_x) \quad (1)$$

Panjang kabel listrik yang mengalami gangguan,  $L_x$  dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut,

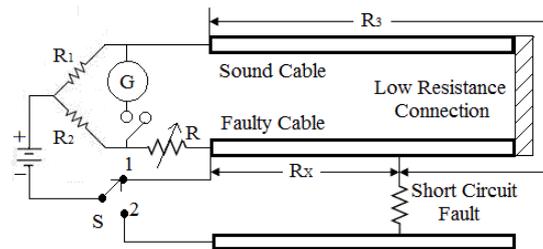
$$L_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot L \quad (2)$$

dimana,  $L$  : Panjang seluruh kabel listrik (m).

Metode Varley Bridge pada dasarnya adalah modifikasi dari metode Murray Bridge yang sama halnya menggunakan Wheatstone Bridge tetapi dengan sebuah tahanan geser,  $R$  dan saklar SPDT,  $S$  dengan dua kondisi yaitu, kondisi 1 dan kondisi 2.



Gambar 5. Varley Bridge Gangguan Pentanahan.



Gambar 6. Varley Bridge Gangguan Hubung Singkat.

Persamaan resistansi pada saat saklar  $S$  dalam kondisi 1 sebagai berikut,

$$(R_3 + R_x) = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_{S1} \quad (3)$$

Persamaan resistansi pada saat saklar  $S$  dalam kondisi 2 sebagai berikut,

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x + R_{S2}} \quad (4)$$

Dari persamaan (3) dan persamaan (4), maka didapatkan persamaan resistansi kabel listrik yang mengalami gangguan,  $R_x$  sebagai berikut,

$$R_x = \frac{R_1 \cdot (R_{S1} - R_{S2})}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

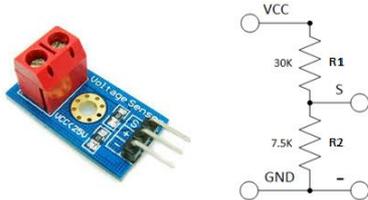
Panjang kabel listrik yang mengalami gangguan,  $L_x$  dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut,

$$L_x = \frac{R_x}{R_3 + R_x} \cdot L \quad (6)$$

dimana,  $L$  : Panjang seluruh kabel listrik (m). [2], [3].

### C. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang berupa modul ini digunakan hanya untuk mengukur tegangan DC dan bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*). Tegangan *input* analog,  $S$  adalah lima kali lebih kecil dari tegangan sebenarnya yang diukur,  $V_{CC}$ .



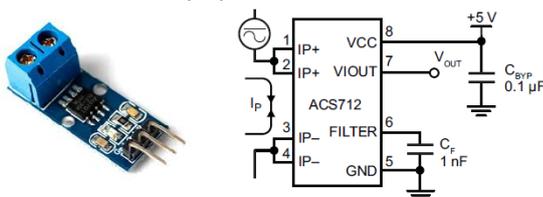
Gambar 7. Sensor Tegangan.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Tegangan.

|                           |                |
|---------------------------|----------------|
| Voltage input range       | 0 V–25 V       |
| Voltage detection range   | 0.02445 V–25 V |
| Voltage analog resolution | 0.00489 V      |
| Supply voltage            | 3.3V/5V        |

### D. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah modul sensor arus linier yang menggunakan IC berbasis Hall-Effect ACS712 produksi Allegro. Modul ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Sensor arus ACS712 ini memiliki tiga pilihan sesuai dengan arus maksimalnya yaitu 5 A, 20 A dan 30 A.[4].



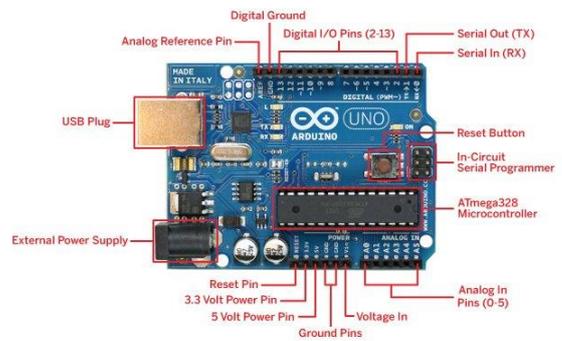
Gambar 8. Sensor Arus ACS712.

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Arus ACS712.

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| Supply voltage, VCC           | 5 V              |
| Total output error            | ± 1.5 %          |
| Output sensitivity            | 66 mV/A–180 mV/A |
| Internal conductor resistance | 1.2 mΩ           |

### E. Arduino Uno R3

Arduino adalah alat pengembangan *prototype* dan *platform* yang merupakan kombinasi dari *hardware* dan *software* dalam lingkungan pengembangan yang terintegrasi (IDE : *Integrated Development Environment*) dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino Uno R3 mempunyai 14 *pin* I/O digital (D0-D13) dengan 6 *pin* dapat digunakan untuk *output* PWM dan 6 *pin* *input* analog (A0-A5). *Pin* I/O digital bekerja pada tegangan 5 V dengan arus maksimum 40 mA. *Pin* *input* analog membaca tegangan 0-5 V yang bernilai 10 bit resolusi ( $2^{10}=1024$ ). [5].



Gambar 9. Arduino Uno R3.

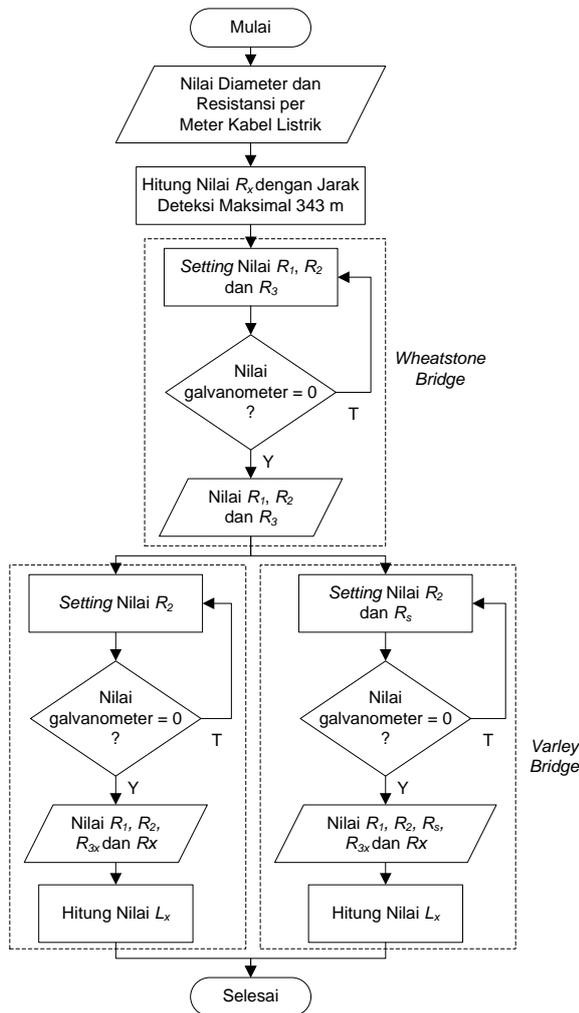
Tabel 3. Spesifikasi Arduino Uno R3.

|                   |                                   |
|-------------------|-----------------------------------|
| Microcontroller   | ATmega 328                        |
| Operating voltage | 5 V                               |
| Pins              | 14 digital I/O, 6 analog input    |
| Flash memory      | 32 KB (0.5 KB used by bootloader) |
| SRAM              | 2 KB                              |
| EEPROM (R/W)      | 1 KB                              |
| Clock Speed       | 16 MHz                            |

### III. METODE PENELITIAN

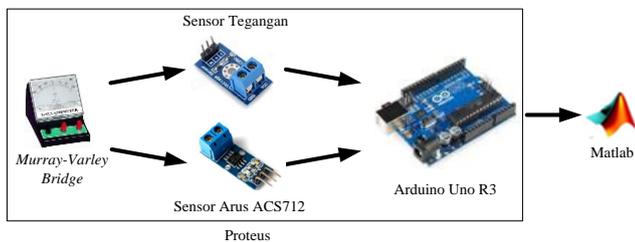
Penelitian ini diselesaikan dengan menggunakan dua metode yaitu, metode *Murray Bridge* dan metode *Varley Bridge*. Prinsip kerja dari dua metode tersebut didasarkan pada *Wheatstone Bridge* sehingga langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian untuk mendapatkan nilai-nilai resistansi pada *Wheatstone Bridge* sesuai dengan jarak maksimal kabel listrik yang dapat dideteksi oleh sistem ini yaitu, 343 m.

Selanjutnya, nilai-nilai resistansi yang telah didapatkan tersebut digunakan sebagai acuan pada metode *Murray-Varley Bridge*. Untuk menentukan jarak atau letak hubung singkat kabel listrik, maka dibutuhkan data diameter dan resistansi per meter kabel listrik. Pada penelitian ini digunakan kabel listrik dengan jenis NYM berdiameter  $2 \times 0.75 \text{ mm}^2$  yang mempunyai nilai resistansi per meter adalah 0.0245. Letak hubung singkat kabel listrik ditentukan sesuai dengan prinsip keseimbangan nilai resistansi pada *Murray-Varley Bridge* menggunakan galvanometer. Keseluruhan alur proses dalam penelitian ini ditunjukkan dengan diagram alir pada gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.

Implementasi metode *Murray-Varley Bridge* dalam penelitian ini untuk mendeteksi letak hubung singkat kabel listrik dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan listrik dan sensor arus listrik ACS712 serta berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan simulasi rangkaian menggunakan *software* Proteus dan simulasi grafis menggunakan *software* Matlab. Diagram blok implementasi sistem dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 11.



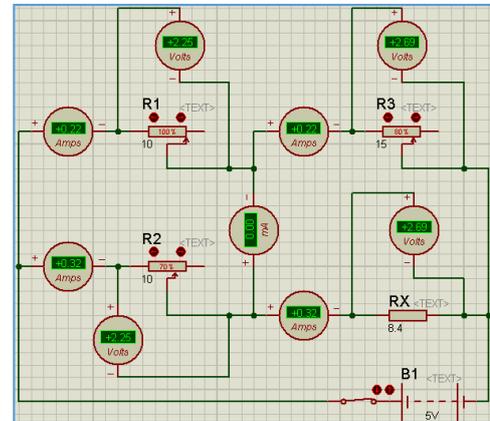
Gambar 11. Diagram Blok Penelitian.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan pengujian untuk mendapatkan nilai  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  pada *Wheatstone Bridge*. Sedangkan nilai  $R_x$  didapatkan sesuai dengan nilai resistansi per meter kabel listrik yang digunakan yaitu, 0,0245 dan jarak maksimal kabel listrik yang dapat dideteksi oleh sistem ini yaitu, 343 m.

$$R_x = 0.0245 \Omega/m \cdot 343 m = 8.40 \Omega \quad (7)$$

Dari hasil pengujian dengan simulasi rangkaian menggunakan *software* Proteus, pada saat seimbang (nilai galvanometer=0) didapatkan nilai  $R_1=10 \Omega$ ,  $R_2=7 \Omega$  dan  $R_3=12 \Omega$ .



Gambar 12. Pengujian *Wheatstone Bridge*.

Nilai  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  yang telah didapatkan di atas kemudian digunakan sebagai acuan pada metode *Murray-Varley Bridge* untuk menentukan letak hubung singkat kabel listrik.

Pada gambar 12, terlihat bahwa  $I_{R1}=I_{R3}$ ,  $I_{R2}=I_{Rx}$ ,  $V_{R1}=V_{R2}$  dan  $V_{R3}=V_{Rx}$  sehingga pada implementasi *Murray-Varley Bridge* dibutuhkan dua sensor tegangan listrik dan dua sensor arus listrik ACS712. Persamaan tegangan pada sensor tegangan listrik adalah,

$$V_{out}(V) = 0.0244 \cdot ADC \quad (8)$$

Persamaan arus pada sensor arus listrik ACS712 adalah,

$$I_{out}(A) = 0.0264 \cdot ADC - 13.51 \quad (9)$$

##### A. *Murray Bridge*

Implementasi metode *Murray Bridge* untuk mendeteksi letak hubung singkat kabel listrik dalam penelitian ini menggunakan satu sensor tegangan listrik dan dua sensor arus listrik ACS712 seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Persamaan  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_{3x}$  sesuai hukum Ohm adalah,

$$R_1(\Omega) = \frac{(V_{ref}-V_{R3})}{2 \cdot I_{R1}} \quad (10)$$

$$R_2(\Omega) = \frac{(V_{ref}-V_{R3})}{2 \cdot I_{R2}} \quad (11)$$

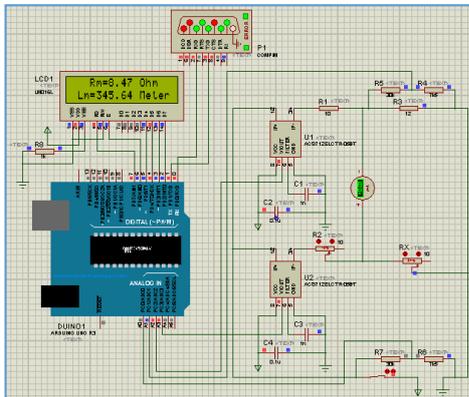
$$R_{3x}(\Omega) = \frac{V_{R3} \cdot (I_{R3} + I_{Rx})}{2 \cdot I_{R3} \cdot I_{Rx}} \quad (12)$$

Persamaan  $R_x$  kabel listrik yang mengalami hubung singkat adalah,

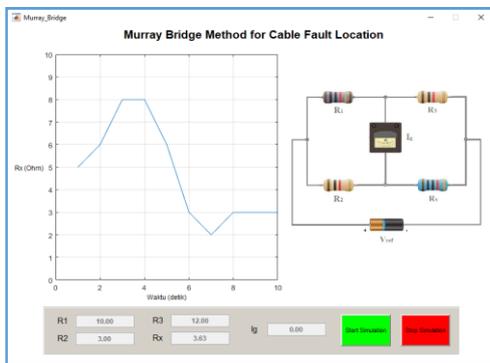
$$R_x(\Omega) = \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \cdot R_{3x} \quad (13)$$

Karena panjang seluruh kabel listrik tidak diketahui, maka persamaan letak hubung singkat kabel listrik didapatkan dari nilai resistansi per meter kabel listrik.

$$L_x(m) = \frac{R_x}{0.0245} \quad (14)$$



Gambar 13. Simulasi Metode Murray Bridge dengan Proteus.



Gambar 14. Simulasi Nilai  $R_x$  Metode Murray Bridge dengan Matlab.

Hasil pengujian dan perbandingan nilai  $R_x$  menggunakan metode Murray Bridge dan Ohmmeter sebagai alat ukur acuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian dengan Metode Murray Bridge.

| No.                  | Letak (m) | Resistansi, $R_x$ ( $\Omega$ ) |          | Persentase (%) |             |
|----------------------|-----------|--------------------------------|----------|----------------|-------------|
|                      |           | Murray Bridge                  | Ohmmeter | Akurasi        | Error       |
| 1                    | 345.64    | 8.47                           | 8.40     | 99.17          | 0.83        |
| 2                    | 266.64    | 6.53                           | 6.60     | 98.94          | 1.06        |
| 3                    | 148.13    | 3.63                           | 3.60     | 99.17          | 0.83        |
| 4                    | 49.90     | 1.22                           | 1.20     | 98.36          | 1.64        |
| <b>Rata-rata (%)</b> |           |                                |          | <b>98.91</b>   | <b>1.09</b> |

Berdasarkan tabel 4. hasil pengujian nilai  $R_x$  di atas terlihat bahwa rata-rata tingkat akurasi adalah 98.91 % dengan rata-rata tingkat kesalahan (error) adalah 1.09 %.

## B. Varley Bridge

Implementasi metode Varley Bridge untuk mendeteksi letak hubung singkat kabel listrik dalam penelitian ini menggunakan dua sensor tegangan listrik dan dua sensor arus listrik ACS712 seperti yang ditunjukkan pada gambar 15. Persamaan  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_s$  dan  $R_{3x}$  sesuai hukum Ohm adalah,

$$R_1(\Omega) = \frac{(V_{ref}-V_{R3})}{2 \cdot I_{R1}} \quad (15)$$

$$R_2(\Omega) = \frac{(V_{ref}-V_{R3})}{2 \cdot I_{R2}} \quad (16)$$

$$R_s(\Omega) = \frac{(V_{R3}-V_{Rx})}{2 \cdot I_{Rx}} \quad (17)$$

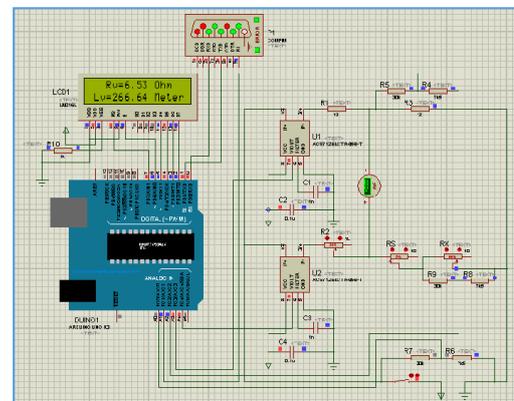
$$R_{3sx}(\Omega) = \frac{(V_{R3}/I_{R3})+(V_{Rx}/I_{Rx})}{2} \quad (18)$$

Persamaan  $R_x$  kabel listrik yang mengalami hubung singkat adalah,

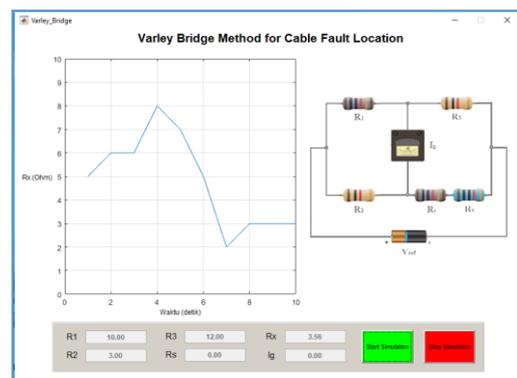
$$R_x(\Omega) = \frac{(R_{3sx} \cdot R_2) - (R_s \cdot R_1)}{(R_1+R_2)} \quad (19)$$

Karena panjang seluruh kabel listrik tidak diketahui, maka persamaan letak hubung singkat kabel listrik didapatkan dari nilai resistansi per meter kabel listrik adalah,

$$L_x(m) = \frac{R_x}{0.0245} \quad (20)$$



Gambar 15. Simulasi Metode Varley Bridge dengan Proteus.



Gambar 16. Simulasi Nilai  $R_x$  Metode Varley Bridge dengan Matlab.

Hasil pengujian dan perbandingan nilai  $R_x$  menggunakan metode *Varley Bridge* dan Ohmmeter sebagai alat ukur acuan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian dengan Metode *Varley Bridge*.

| No.           | Letak (m) | Resistansi, $R_x$ ( $\Omega$ ) |          | Persentase (%) |             |
|---------------|-----------|--------------------------------|----------|----------------|-------------|
|               |           | <i>Varley Bridge</i>           | Ohmmeter | Akurasi        | Error       |
| 1             | 345.64    | 8.47                           | 8.40     | 99.17          | 0.83        |
| 2             | 266.64    | 6.53                           | 6.60     | 98.94          | 1.06        |
| 3             | 145.24    | 3.56                           | 3.60     | 98.89          | 1.11        |
| 4             | 48.93     | 1.20                           | 1.20     | 100.00         | 0.00        |
| Rata-rata (%) |           |                                |          | <b>99.25</b>   | <b>0.75</b> |

Berdasarkan tabel 5. hasil pengujian nilai  $R_x$  di atas terlihat bahwa rata-rata tingkat akurasi adalah 99.25 % dengan rata-rata tingkat kesalahan (*error*) adalah 0.75 %.

### KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan yaitu, implementasi metode *Murray-Varley Bridge* untuk mendeteksi letak hubung singkat kabel listrik dapat dilakukan secara cepat, praktis dan memiliki rata-rata tingkat akurasi adalah 99.08 % dengan rata-rata tingkat kesalahan (*error*) adalah 0.92 %. *Error* tersebut dihasilkan karena adanya resistansi internal yang terdapat pada setiap komponen di dalam sistem, terutama sensor arus listrik ACS712 yang memiliki resistansi konduktor internal sebesar 1.2 m $\Omega$ . Metode *Varley Bridge* memiliki rata-rata tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan metode *Murray Bridge*. Hal ini disebabkan karena pada metode *Varley Bridge* untuk mencapai keseimbangan nilai resistansinya dilakukan melalui pengesetan  $R_2$  dan  $R_s$  sehingga nilai galvanometernya mampu mendekati atau sama dengan nol untuk mengurangi *error* yang dihasilkan. Untuk mengetahui jenis gangguan yang terjadi pada kabel listrik berupa gangguan pentanahan (*ground fault*) atau gangguan hubung singkat (*short circuit fault*), maka perlu kajian lebih lanjut mengenai analisa pola tegangan jatuh (*voltage drop*) yang terjadi dalam sistem.

### REFERENSI

- [1] C. Dunken Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye, "Power System Analysis and Design, Fifth Edition", Stamford : Cengage Learning, 2012.
- [2] Md. Alamgir Hossain, "Electrical Measurement and Instrumentation", Khulna University of Engineering & Technology (KUET) : Department of Electrical and Electronic Engineering, 2014.
- [3] B. Clegg, "Underground Cable Fault Location", New York : McGraw-Hill, 1993.
- [4] Allegromicro, "ACS712 : Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor", Allegro MicroSystems Inc., 2016.
- [5] Isa R., Lilik S., "Praktikum Sistem Pengendalian", Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS : Program Studi Teknik Otomasi, 2015.