

Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer  
**AMPLIFIER**

Vol. 3 No. 2, November 2013

ISSN: 2039-2020

**Perancangan Pengendalian dan Monitoring Lengan Robot  
Berbasis SCADA**

*Caroline, Ike Bayusari, Djulil Amri, Hermawati*

**Analisa Keandalan Sistem Transmisi Dengan Metode FTA (Fault Tree Analysis)**

*Emmy Hosea, Julius Sentosa Setiadji, Ontoseno Penangsang, Irvan Indra Kurniawan*

**Aplikasi Perbandingan Pengendali P, PI, Dan PID Pada Proses Pengendalian  
Suhu Dalam Sistem Mini Boiler**

*Bhakti Yudho S, Hera Hikmarika, Suci Dwijayanti, Purwanto*

**Least Square Inversion Display Resistivitas Tanah Laboratorium Fakultas  
Teknik Unib Dengan Pengukuran Tahanan Tiga Titik**

*Yuli Rodiah, Yanolanda Suzantry Handayani*

**Sistem Pengisian Air Otomatis Pada Wadah Bervariasi Menggunakan Metode  
Scanning Sensor Ultrasonik Ping**

*Abdurrahman Fikri, M Khairul Amri Rosa*

**Pengkondisian Tegangan Konstan 12 V Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
Menggunakan Solar Cell Monocrystal 20 WP**

*Anizar Indriani, Ika Novia Anggraini, Agung Putra Yudi Utama,*



Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer

# AMPLIFIER

Volume 3 Nomor 2 Tahun III, November 2013

- |   |         |
|---|---------|
| <b>Perancangan Pengendalian dan Monitoring Lengan Robot Berbasis SCADA</b>  | 1 – 5   |
| <i>Caroline, Ike Bayusari, Djulil Amri, Hermawati</i>   |         |
| <b>Analisa Keandalan Sistem Transmisi Dengan Metode FTA (Fault Tree Analysis)</b>   | 6 – 11  |
| <i>Emmy Hosea, Julius Sentosa Setiadji, Ontoseno Penangsang, Irvan Indra Kurniawan</i>  |         |
| <b>Aplikasi Perbandingan Pengendali P, PI, Dan PID Pada Proses Pengendalian Suhu Dalam Sistem Mini Boiler</b>                   | 12 – 18 |
| <i>Bhakti Yudho S, Hera Hikmarika, Suci Dwijayanti, Purwanto</i>  |         |
| <b>Least Square Inversion Display Resistivitas Tanah Laboratorium Fakultas Teknik Unib Dengan Pengukuran Tahanan Tiga Titik</b> | 19 – 25 |
| <i>Yuli Rodiah, Yanolanda Suzantry Handayani</i>  |         |
| <b>Sistem Pengisian Air Otomatis Pada Wadah Bervariasi Menggunakan Metode Scanning Sensor Ultrasonik Ping</b>                   | 26 – 31 |
| <i>Abdurrahman Fikri, M Khairul Amri Rosa</i>   |         |
| <b>Pengkondisian Tegangan Konstan 12 V Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Solar Sel <i>Monocrystal</i></b>        | 32 – 39 |
| <i>Anizar Indriani, Ika Novia Anggraini, Agung Putra Yudi Utama,</i>  |         |

# Analisa Keandalan Sistem Transmisi Dengan Metode FTA (Fault Tree Analysis)

Emmy Hosea<sup>1</sup>, Julius Sentosa Setiadji<sup>1</sup>, Ontoseno Penangsang<sup>2</sup>, Irvan Indra Kurniawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya, email : emmyho@petra.ac.id, julius@petra.ac.id,

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, ITS, Surabaya

## ABSTRACT

**In electric power system, reliability becomes a very important factor. System reliability is used to analyze the capability of equipment or system in doing its functions. This presented paper is about system reliability in 150 kV East Java transmission line, especially Waru-Sawahan 1 transmission system using FTA (Fault Tree Analysis). In this method, failure rate of main transmission equipment is calculated in looking for the reliability index of the system. The analysis is done from top level (main occurrence) to basic level (failure occurrence). According to the analysis, it is obtained that system reliability index is 0.0008756 and the critical event is in the circuit breaker leakage (0,2530), particularly in the tripping valve (0,4128) and closing valve (0,6130). Therefore, we need to pay more attention to this part.**

**Keywords:** Reliability, Transmission System, Fault Tree Analysis

## 1. PENDAHULUAN

Dalam sebuah Sistem tenaga listrik keandalan menjadi faktor yang sangat penting. Keandalan sistem bertujuan untuk menganalisa kemampuan suatu peralatan atau sistem dalam menjalankan misinya. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas sistem berfungsi selama waktu tertentu dalam kondisi tertentu pula.

Kegagalan salah satu komponen pada sistem dapat berakibat rusaknya sistem secara lokal dan apabila hal ini tidak dapat diatasi dengan baik, maka tidak menutup kemungkinan akan terjadi kerusakan pada sistem secara global. Oleh sebab itu diperlukan analisa keandalan pada sistem tenaga listrik. Nilai keandalan yang semakin tinggi pada sistem transmisi dapat meminimalkan resiko terjadinya kegagalan (risk reduction factor) pada sistem tenaga listrik dan memperpanjang kontinuitas dari sistem tenaga listrik dalam melakukan prosesnya.

### A. Teori Keandalan

Peralatan dioperasikan untuk jangka waktu tertentu. Kondisi peralatan tersebut diamati terus menerus. Pada suatu saat kondisi peralatan tersebut memiliki dua kemungkinan, yaitu baik atau rusak.

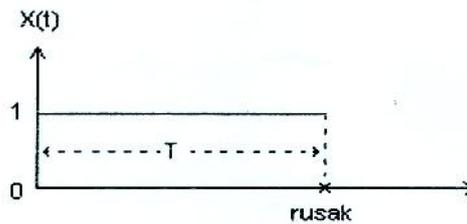
Baik; bila peralatan dapat beroperasi sesuai yang diinginkan.

Rusak; bila peralatan tidak dapat beroperasi sesuai yang diinginkan.

Dalam analisa keandalan, notasikan kondisi peralatan pada saat  $t$  dengan  $x(t)$ .  $x$  adalah variable acak yang menyatakan kondisi peralatan tersebut.

$x(t) = 1$  : bila pada saat  $t$ , peralatan dalam kondisi baik

$x(t) = 0$  : bila pada saat  $t$ , peralatan dalam kondisi rusak.



Gambar 1. Masa Pakai Komponen

Dari gambar 1 terlihat bahwa dalam keadaan awal ( $t = 0$ ), diasumsikan peralatan dalam kondisi baik ( $x(0) = 1$ ).  $t$  : Lamanya peralatan beroperasi sampai mengalami kerusakan atau masa pakai (life time) atau Time to Failure (TTF) dan merupakan variable acak.

Dari gambar 1 terlihat bahwa dalam keadaan awal ( $t = 0$ ), diasumsikan peralatan dalam kondisi baik ( $x(0) = 1$ ).

$t$  : Lamanya peralatan beroperasi sampai mengalami kerusakan atau masa pakai (life time) atau Time to Failure (TTF) dan merupakan variable acak.

Kerusakan dapat dinyatakan dengan variabel acak  $T$  atau dapat pula dinyatakan dengan proses stokastik  $x(t)$ . Hubungan antara keduanya adalah:

$$T > t \leftrightarrow x(t) = 1$$

$$T \leq t \leftrightarrow x(t) = 0$$

$P(x(t)=1)$  : Probabilitas bahwa peralatan tersebut masih beroperasi pada saat  $t$ . Sedangkan keandalan peralatan dinyatakan pada rumus (1)

$$R(t) = P(x(t) = 1) \tag{1}$$

$R(t)$  → Keandalan peralatan pada saat  $t$ , yang sering kali disebut sebagai fungsi keandalan.

Range nilai :  $0 \leq R(t) \leq 1$

$R(t) = 1$  : Sistem berfungsi dengan baik

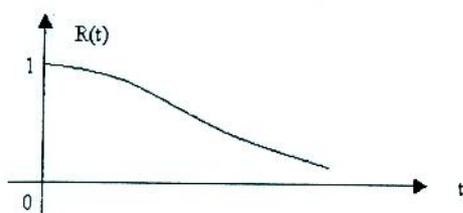
$R(t) = 0$  : Sistem tidak berfungsi dengan baik.

Fungsi keandalan menyatakan hubungan antara keandalan dengan waktu (yaitu lamanya sistem menjalankan tugas).

$$\begin{aligned}
 R(t) &= P(\text{Peralatan beroperasi/sistem beroperasi}) \\
 &= P(x(t)=1) \\
 &= P(T > t) \\
 &= 1 - P(T \leq t)
 \end{aligned}$$

FT(t) merupakan fungsi distribusi komulatif sistem (life time) atau fungsi distribusi kerusakan, merupakan probabilitas terjadinya kegagalan pada waktu lebih kecil atau sama dengan t. Fungsi distribusi kerusakan dinyatakan pada rumus (2). Sedangkan hubungan antara fungsi distribusi kerusakan dan keandalan peralatan dinyatakan pada rumus (3)

$$\begin{aligned}
 FT(t) &= P(T \leq t) & (2) \\
 R(t) &= 1 - FT(t) & (3)
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Kurva Keandalan

Dari gambar 2 terlihat bahwa R(t) memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1.  $0 \leq R(t) \leq 1$
2. Monoton tidak naik
3.  $R(\infty) = 0 ; R(0) = 1$

FT(t) = fungsi densitas probabilitas dari T, dapat diturunkan dari fungsi keandalan

**B. Mean Time To Failure**

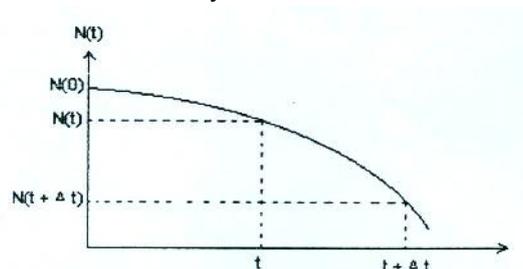
Keandalan dari suatu sistem sering kali diberikan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem tersebut, yang dinotasikan  $E[T]$  – ditunjukkan pada rumus (4) dan sering disebut dengan rata-rata waktu kerusakan atau Mean Time To Failure (MTTF). MTTF hanya dipergunakan pada komponen atau peralatan yang sekali mengalami kerusakan harus diganti dengan komponen atau peralatan yang masih baru atau baik.

$$E[T] = MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (4)$$

**C. Laju Kerusakan**

Gejala kerusakan dapat juga dinyatakan dengan fungsi kerusakan (hazard function) atau fungsi laju kerusakan (failure rate function). Laju kerusakan (failure

rate) menyatakan banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu atau laju proporsi kerusakan sesaat untuk komponen yang bertahan sampai dengan saat itu. Umumnya waktu dinyatakan dalam year dan failure rate dinyatakan dalam failure/year.



Gambar 3. Grafik Banyaknya Komponen yang Beroperasi

Dari gambar 3 terlihat bahwa jika diambil pengamatan sesaat, yakni untuk  $\Delta t$  mendekati 0 ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), maka akan diperoleh laju kerusakan  $\lambda(t)$  yaitu:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} \quad (5)$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} \quad (6)$$

$$\lambda(t) = \frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{f_T(t)}{R(t)} \quad (7)$$

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)dx\right) \quad (8)$$

Fungsi  $\lambda(t)$  (failure rate) pada rumus (5), (6), dan (7) disebut laju kerusakan sesaat, yang lebih dikenal sebagai fungsi kerusakan atau Hazard function atau Instantaneous Failure  $h(t)$ .

$$\int_0^t h(t)dt = H(t) \rightarrow \text{Integrated Hazard Function}$$

$$\text{Jadi: } R(t) = \exp(-H(t)) \quad (9)$$

Sedangkan hubungan antara fungsi kerusakan dan keandalan peralatan dinyatakan pada rumus (8) dan (9).

**D. Model Probabilitas**

Untuk menghitung keandalan suatu peralatan/ komponen langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui model probabilitas peralatan atau komponen yang biasanya dinyatakan dengan distribusi statistik.

**Distribusi Weibull**

a. Distribusi Weibull dua parameter  
Fungsi kepadatan (densitas) dinyatakan dengan persamaan pada rumus (10):

$$f_{(t)} = \beta\lambda(\lambda t)^{\beta-1} \exp(-\lambda t^\beta) \quad (10)$$

Dimana:  
 $\beta$  = Slope/kemiringan dari fungsi Weibull.  $B > 0$

$\lambda$  = Skala parameter (menentukan karakteristik dari life time).  $\Lambda > 0$

Fungsi kumulatif pada distribusi Weibull dua parameter dinyatakan pada rumus (11):

$$F_{(t)} = 1 - \exp(-\lambda t^\beta) \quad (11)$$

Hubungan antara fungsi keandalan dan Distribusi Weibull dua parameter dinyatakan pada rumus (12):

$$R(t) = \exp(-\lambda t^\beta) \quad (12)$$

Laju kerusakan pada distribusi Weibull dua parameter dinyatakan dalam rumus (13):

$$\lambda_{(t)} = h_{(t)} = \beta \lambda t^{\beta-1} \quad (13)$$

Hubungan antara rata-rata waktu kerusakan dan laju kerusakan pada distribusi Weibull dua parameter dinyatakan pada rumus (14)

$$MTTF = \lambda^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left[\frac{1}{\beta} + 1\right] \quad (14)$$

b. Distribusi Weibull tiga parameter

Fungsi kepadatan pada distribusi Weibull tiga parameter dinyatakan pada rumus (15):

$$f_{(t)} = \beta \lambda (\lambda(t - t_0))^{\beta-1} \exp(-(\lambda(t - t_0))^\beta) \quad (15)$$

$t_0$  = Umur minimum suatu komponen,  $t \geq t_0 \geq 0$

Fungsi kumulatif pada distribusi Weibull tiga parameter dinyatakan pada rumus (16):

$$F_{(t)} = 1 - \exp(-(\lambda(t - t_0))^\beta) \quad (16)$$

Laju kerusakan pada distribusi Weibull tiga parameter dinyatakan pada rumus (17) dan (18):

$$h_{(t)} = \lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{R_{(t)}} \quad (17)$$

$$h_{(t)} = \lambda \beta (\lambda(t - t_0))^{\beta-1} \quad (18)$$

Hubungan antara rata-rata waktu kerusakan dan laju kerusakan pada distribusi Weibull tiga parameter dinyatakan pada rumus (19)

$$MTTF = \lambda^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) + t_0 \quad (19)$$

## FUNGSI STRUKTURAL

Asumsi bahwa komponen hanya memiliki 2 state untuk komponen x ke i

$X_i = 0$ , komponen ke i gagal berfungsi

$X_i = 1$ , komponen ke i berfungsi

Untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , dimana n adalah banyaknya komponen dalam sistem.

Dalam fungsi ini hanya ada operasi logika, seperti:

- 1) Operasi  $\cap$  (AND)
- 2) Operasi  $\cup$  (OR)
- 3) Operasi Komplemen

### Struktur Seri

Pada Fungsi Struktur seri, sistem dikatakan baik jika semua komponen dalam kondisi baik.

- Sistem rusak, jika salah satu komponen rusak
- Sistem baik, jika semua komponen baik

Fungsi Struktural seri dinyatakan pada rumus (20):

$$f_{\text{seri}}(R_1, R_2, \dots, R_n) = R_1, R_2, \dots, R_n \quad (20)$$

### Struktur Paralel

Fungsi Struktur Paralel adalah struktur sistem di mana sistem tersebut masih berfungsi bila paling sedikit ada satu komponennya berfungsi atau dapat dikatakan sistem rusak bila semua komponen rusak.

Fungsi Struktur paralel dinyatakan pada rumus (21)

$$f_{\text{paralel}}(R_1, R_2, \dots, R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (21)$$

## ANALISA FAULT TREE

Merupakan analisa kualitatif untuk menjelaskan dalam bentuk diagram sebab-sebab kerusakan sistem. Konsep dasar dalam analisis fault tree adalah memodelkan sistem fisik ke dalam komplemen fungsi struktur logika (diagram fault tree). Diagram logika ini dibuat dengan menggunakan simbol event dan simbol logika. Simbol-simbol event dan logika dibawah dalam adaptasi terhadap simbol-simbol standart yang digunakan dalam diagram fault tree untuk mempermudah penulisan.

Gate yang banyak digunakan dalam model fault tree adalah gate "OR" dan "AND". Top event diambil dari preliminary Hazard Analysis, tetapi secara informal adalah event yang sangat tidak diinginkan yang dapat terjadi sebagai hasil dari kegagalan subsistem.

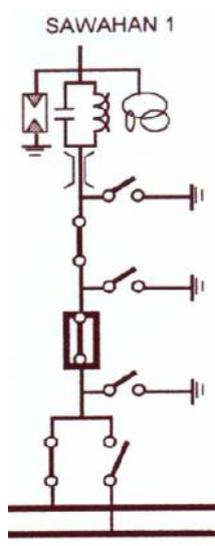
FTA (Fault Tree Analysis) terdiri dari 4 tahap:

1. Definisi sistem
2. Pembuatan diagram fault tree
3. Analisa kualitatif
4. Analisa kuantitatif

**DATA DAN ANALISA DATA**

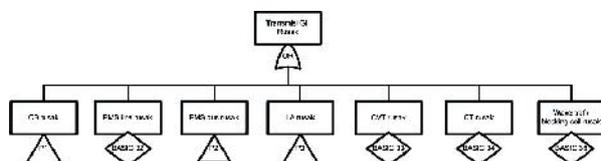
Penelitian dilakukan pada sistem transmisi 150 kV GI. Waru dengan penyaluran Sawahan 1.

Single Line Diagram sistem transmisi 150 kV GI. Waru dengan penyaluran Sawahan ditunjukkan pada gambar (4)



Gambar 4. Single Line Diagram sistem transmisi 150 kV GI. Waru dengan penyaluran Sawahan

Dari gambar 4, sistem fisik dibuatkan model ke dalam komplemen fungsi struktur logika (diagram fault tree) yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Fault Tree dari Sistem Transmisi 150 kV GI. Waru dengan Penyaluran Sawahan 1

Berdasarkan data yang diperoleh dari GI Waru, dibuat tabel kegagalan komponen dari Sistem Transmisi 150 kV seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1  
KEGAGALAN KOMPONEN DARI SISTEM TRANSMISI 150 kV

No	ITEM	Time to
----	------	---------

		Failure (day)
		107
1	Rekomisioning Gas SF6	148 2.065
2	Kompresor	466 1.476
3	Moving Contact	1.833
4	Fixed Contact	1.833
5	Air Pressure too Low	1.985
6	AC/DC Supply	1.985
7	Busbar A	2.575
8	Terminal Plate DS Bus A	1.463
9	Kesalahan Operasi	2.310
10	Capacitor Voltage Transformer (CVT)	2.180
11	Current Transformer	49 2.175
12	Pemeliharaan GI 122	166 184 188 194 362 365 365 371
13	Closing Valve	117 399 694 1.510
14	Tripping Valve	35 81 112 145 287 546 713 840 859

Dari data pada Tabel 1 dan dengan menggunakan program Weibull ++4 dihitung nilai keandalan dari komponen tersebut dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2.  
NILAI KEANDALAN KOMPONEN

No	ITEM	Reliability	MTTF
1	Rekomisioning Gas SF6	0,3570	22.080,94
2	Kompresor	0,7671	1.182,12

3	Moving Contact	0,8332	2.000,00
4	Fixed Contact	0,8332	2.000,00
5	Air Pressure too Low	0,8332	2.000,00
6	AC/DC Supply	0,8332	2.000,00
7	Busbar A	0,8642	2.500,00
8	Terminal Plate DS Bus A	0,7745	1.428,57
9	Kesalahan Operasi	0,8642	2.500,00
10	Capacitor Voltage Transformer (CVT)	0,8332	2.000,00
11	Current Transformer	0,5081	7.037,17
12	Pemeliharaan GI	0,2103	272,30
13	Closing Valve	0,6130	809,01
14	Tripping Valve	0,4128	484,86

Nilai keandalan komponen dimasukkan ke dalam analisa Fault Tree, untuk menghitung keandalan dari sistem transmisi 150 kV GI. Waru dengan penyaluran Sawahan 1 dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

TABEL 3.  
NILAI KEANDALAN CB

No	ITEM	Reliability
1	Kebocoran pada CB (OR 2)	0,2530
2	Pressure tank rusak (OR 5)	1,0000
3	Gas pressure terlalu rendah (OR7)	0,7671
4	Gas pressure tidak terpenuhi (EX OR 1)	0,7671
5	Kontak CB rusak (OR 6)	0,6924
6	Pemadaman busur api gagal (OR 3)	0,2739
7	Inhibit 1	0,9722
8	Penggerak kontak CB rusak (OR 4)	0,6749
9	CB Rusak (OR 1)	0,009835

Dari hasil analisa fault tree untuk PMS didapatkan nilai keandalan dari CB = 0,0098354

TABEL 4.  
NILAI KEANDALAN PMS

No	ITEM	Reliability
1	Penggerak kontak PMS pd bus A gagal (OR 12)	0,7745
2	PMS bus A rusak (OR 10)	0,6693
3	Jalur 1 gagal (OR 8)	0,5784
4	Penggerak kontak PMS pd bus B gagal (OR 13)	1,0000
5	PMS bus B rusak (OR 11)	1,0000
6	Jalur 2 gagal	1,0000
7	PMS rusak (AND 2)	1,0000

Dari hasil analisa fault tree untuk PMS didapatkan nilai keandalan dari PMS = 1,0000

TABEL 5.  
NILAI KEANDALAN LA

No.	ITEM	Reliability
1	Media penghubung gagal	1,0000
2	LA rusak	0,2103

Dari hasil analisa fault tree untuk PMS didapatkan nilai keandalan dari LA = 0,2103

Dari data hasil analisa fault tree untuk sistem transmisi 150 kV, didapatkan nilai keandalan dari sistem secara keseluruhan adalah sebesar 0.0008756. Yang sangat mempengaruhi nilai keandalan dari sistem adalah CB (0.009835), karena makin banyak komponen penyusunnya maka makin rendah nilai keandalan sistem.

### 5. PENUTUP

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa nilai keandalan sistem secara keseluruhan adalah 0.0008756 dimana nilai keandalan pada top event sangat dipengaruhi oleh nilai keandalan pada basic event pada minimal cut sets.

Circuit breaker (CB), mempunyai nilai keandalan yang paling kecil (0.0098354). Komponen yang kritis pada CB yang perlu perhatian khusus adalah kebocoran pada CB (0.2530); yang dikarenakan oleh Tripping valve (0.4128) dan Closing valve (0.6130)

## REFERENSI

- [1] Ramakumar, R. Engineering Reliability Fundamentals And Applications. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1993.
- [2] [2] Pilot, Simha. What Is a Fault Tree Analysis?. ProQuest Science Journals. 06 Juli 2007<<http://proquest.umi.com/pqdweb?index=10&did=110696586&SrchMode=1&sid=1&Fmt=4&VInst=PROD&VType=PQD&RQT=309&VName=PQD&TS=1183705766&clientId=46969>>.
- [3] [3] E.O.Schweitzer,III, Bill Fleming, and Tony J.Lee, Reliability Analysis of Transmission Protection Using Fault Tree Methods, Pullman, WA USA: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, 1998.
- [4] [4] Hutaaruk, T.S. Transmisi Daya Listrik. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama, 1996.
- [5] [5] Gonen, Turan. Electric Power Distribution System Engineering. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [6] [6] Gross, Charles A. Power System Analysis. 2th ed. Canada: John Wiley & Sons, 1986.