

ANALISIS KECELAKAAN SAMBARAN PETIR UNTUK PERANCANGAN PROTEKSI PETIR EKSTERNAL DAN INTERNAL PADA PERUSAHAAN FABRIKASI BOILER

Firda Tisna Izdihar¹⁾, Hendro Agus Widodo²⁾, dan Haidar Natsir Amrullah³⁾

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

²Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

³Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: firda.tisna@gmail.com

Abstract

One of the fabrication boiler companies in Sidoarjo, including into areas with a high hazard possibility caused by a lightning strike with the number of days of thunder is 235 days. But the company is not equipped with lightning protection system. So on 2013 and 2016 there was a lightning strike in the work area that caused the destruction of production machinery. Based on these circumstances, this final project will discuss about lightning strike accidents using fault tree analysis (FTA) method for designing external and internal lightning protection. From the analysis conducted, known lightning strike is the highest factor when damage occurs. The quantitative analysis of the system before the repair is 0,10003, and after the repair is 0,00061. Protection systems include grounding systems, external, and internal. At grounding system type of electrode is rod or pipe with length of 5 meter at least 2 pieces. While for external protection required finial as much as 4 pieces. And Schneider iPRF 12.5r will be the type of arrester, with Isc value 12.5 kA is required as an internal protection..

Keywords : *fault tree analysis, external lightning protection, internal lightning protection*

Abstrak

Salah satu perusahaan fabrikasi boiler di Sidoarjo, termasuk kedalam daerah dengan kemungkinan potensi bahaya cukup tinggi yang diakibatkan sambaran petir yaitu dengan jumlah hari guruh 235 hari. Namun perusahaan tersebut belum dilengkapi dengan sistem proteksi petir. Sehingga pada tahun 2013 dan pada tahun 2016 terjadi sambaran petir di area kerja yang mengakibatkan kerusakan mesin produksi. Berdasarkan keadaan tersebut, tugas akhir ini akan membahas mengenai analisa kecelakaan sambaran petir menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) untuk perancangan proteksi petir eksternal dan internal. Dari analisa yang dilakukan, diketahui sambaran petir merupakan factor tertinggi saat terjadi kerusakan. Hasil analisa kuantitatif dari sistem sebelum dilakukan perbaikan adalah 0,10003, dan setelah dilakukan perbaikan adalah 0,00061. Sistem proteksi meliputi *grounding system*, eksternal, dan internal. Pada *grounding system* jenis electrode yang direncanakan adalah electrode batang atau pipa dengan ukuran panjang 5 meter sebanyak minimal 2 buah. Sedangkan untuk proteksi eksternal dibutuhkan finial sebanyak 4 buah. Dan arrester jenis Schneider iPRF 12.5r dengan nilai I_{sc} 12,5 kA diperlukan sebagai proteksi internal.

Kata kunci : *FTA, proteksi petir eksternal, proteksi petir internal*

PENDAHULUAN

Sambaran petir dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan atau mesin yang menggunakan rangkaian elektronika dan mikropesesor. Mengingat potensi bahaya terdapat hampir diseluruh tempat kerja, maka upaya untuk mencegah dan mengurangi resiko yang mungkin timbul akibat proses pekerjaan perlu segera dilakukan.

Salah satu perusahaan yang bergerak dibidang fabrikasi alat seperti boiler, mesin kopi, dan lain-lain termasuk kedalam daerah dengan kemungkinan kejadian sambaran petir yang cukup tinggi. Namun sayangnya perusahaan tersebut belum dilengkapi dengan sistem proteksi petir. Seperti yang terjadi pada tahun 2013 dan tahun 2016, telah terjadi sambaran petir di area kerja perusahaan fabrikasi boiler yang mengakibatkan kerusakan pada beberapa mesin produksi. Kejadian ini terjadi akibat sistem proteksi petir yang belum tersedia di area perusahaan, padahal hari guruh cukup tinggi dan kondisi letak perusahaan yang berada di area lapang dan merupakan bangunan tertinggi diantara bangunan lainnya. Hal ini menyebabkan kemungkinan gangguan sambaran petir sangat besar terjadi. Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2017, menyatakan bahwa Sidoarjo berada pada wilayah dengan tingkat sambaran petir rata – rata cukup tinggi per tahunnya, yaitu 235. Jika diprosentasikan dalam bentuk persen, ini berarti daerah Surabaya dan sekitarnya memiliki IKL (hari guruh) tinggi yaitu 64.38 %.

Berdasarkan keadaan yang terdapat dilapangan, penelitian ini akan membahas mengenai analisis kecelakaan sambaran petir menggunakan metode *fault tree analysis* serta perancangan sistem proteksi petir (SPP) eksternal dan internal pada perusahaan fabrikasi boiler agar dapat meminimalkan potensi kecelakaan yang diakibatkan oleh sambaran petir.

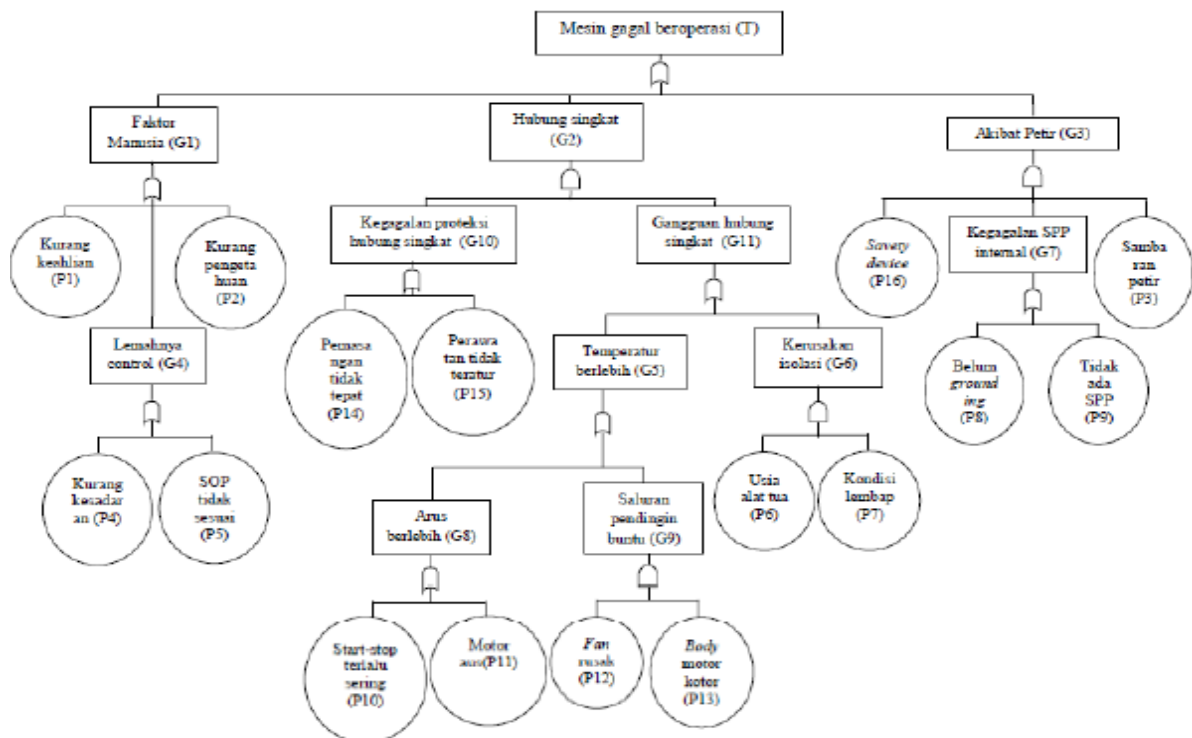
METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada analisis kecelakaan menggunakan metode *fault tree analysis* dan perancangan sistem proteksi petir eksternal dan internal. Pengambilan data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder. Sumber data primer dalam penelitian ini diperoleh dari proses wawancara dengan petugas terkait. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi layout ukuran perusahaan.

Setelah data terkumpul, maka dilakukan analisis menggunakan *fault tree analysis* untuk mengetahui factor-faktor penyebab terjadinya kecelakaan yang dalam hal ini adalah kerusakan mesin produksi. Setelah didapat factor yang paling dominan melalui perhitungan probabilitasnya, maka dirancang sistem proteksi petir eksternal dan internal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tidak adanya proteksi petir di perusahaan fabrikasi boiler mengakibatkan terjadinya kerusakan beberapa mesin produksi pada tahun 2013 dan tahun 2016. Ini diketahui dari identifikasi dan investigasi yang telah dilakukan oleh perusahaan setelah kecelakaan yang menyebabkan kerusakan tersebut terjadi. Tujuan mengidentifikasi adalah untuk menggambarkan pohon kesalahan (*fault tree*) yang terstruktur diantara penyebab yang satu dengan penyebab yang lainnya sehingga diketahui kemungkinan terjadinya factor penyebab kerusakan mesin pada perusahaan fabrikasi boiler secara sistematis, dan berikut adalah *fault tree analysis* pada kerusakan mesin produksi:



Gambar 1. Diagram *fault tree analysis*

Sumber : Izdihar, Firda Tisna. (2018). Analisis Kecelakaan Sambaran Petir Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* Untuk Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Dan Internal Pada Perusahaan Fabrikasi Boiler. Surabaya.

Setelah melakukan analisis kecelakaan menggunakan data yang telah didapat dari wawancara kepada karyawan terkait (menggunakan metode *fault tree analysis*), maka selanjutnya dapat diketahui nilai probabilitas dari masing-masing *basic event*. Pada factor kondisi mesin, semua kejadian memiliki peluang yang sama yang dapat menyebabkan kegagalan operasi mesin. Fan rusak, *body motor* kotor, motor aus, *start stop* terlalu sering, sambaran petir, usia alat tua, dan belum adanya *grounding* merupakan kejadian yang dapat menyebabkan mesin gagal beroperasi. Pada tahun 2015, perusahaan telah mengeluarkan kebijakan untuk memperbaiki faktor yang disebabkan oleh manusia (pekerja), maka faktor manusia dalam hal ini diabaikan. Dari gambar bisa didapat persamaan Booleannya:

$$\begin{aligned}
 T &= G2 + G3 \\
 &= (G10 \times G11) + (G7 \times P3) \\
 &= ((P14 + P15) \times G11) + ((P8 + P9) \times P3) \\
 &= (P14 \times G11) + (P15 \times G11) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\
 &= P14 \times (G5 + G6) + P15 \times (G5 + G6) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\
 &= (P14 \times G5) + (P14 \times G6) + (P15 \times G5) + (P15 \times G6) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\
 &= P14 \times (G8 + G9) + (P14 \times P6 \times P7) + P15 \times (G8 + G9) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\
 &= (P14 \times G8) + (P14 \times G9) + (P14 \times P6 \times P7) + (P15 \times G8) + (P15 \times G9) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\
 &= P14 \times (P10 + P11) + P14 \times (P12 \times P13) + (P14 \times P6 \times P7) + P15 \times (P10 + P11) + (P15 \times G9) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) \\
 &\quad + (P9 \times P3) \\
 &= (P14 \times P10) + (P14 \times P11) + (P14 \times P12) + (P14 \times P13) + (P14 \times P6 \times P7) + (P15 \times P10) + (P15 \times P11) + \\
 &\quad (P15 \times P12 \times P13) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3)
 \end{aligned}$$

Maka *minimal cutset* dari gambar 1 adalah $(P14 \times P10) + (P14 \times P11) + (P14 \times P12) + (P14 \times P13) + (P14 \times P6 \times P7) + (P15 \times P10) + (P15 \times P11) + (P15 \times P12 \times P13) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3)$. Dari *minimal cutset* tersebut, maka akan dicari nilai probabilitas dari masing-masing kejadian. Sehingga nantinya akan didapatkan nilai

probabilitas tertinggi, yang berarti merupakan factor tertinggi penyebab terjadinya kecelakaan. Menurut Pandey, analisa kuantitatif pada probabilitas kegagalan pada masing – masing *basic event* adalah sebagai berikut :

Tabel 1
 Nilai Probabilitas

Symbol	Deskripsi	Probabilitas
P1	Kerusakan pada motor	0,01
P2	Kegagalan pada kawat (terbuka)	0,01
P3	Kegagalan pada power supply (tidak ada arus)	0,01
P4	Kerusakan pada saklar	0,01
P5	Kegagalan saklar terbuka pada kondisi normal	0,01
P6	Kegagalan pada kawat (hubung pendek)	0,01
P7	Kegagalan power (arus yang tiba – tiba)	0,01
S1	Saklar terbuka secara keliru	0,0001
C1	Sekering gagal terbuka	0,50

Sumber : Pandey, M. (2005). *Engineering and Sustainable Development: Fault Tree Analysis*. Waterloo : University of Waterloo

Untuk sambaran petir, harus dicari nilai probabilitasnya dengan menggunakan rumus keandalan atau realibility dengan rumus berikut ini:

$$R = e^{-\lambda T}$$

$$R + Q = 1, \text{ sehingga } Q = 1 - R = 1 - e^{-\lambda T}$$

Keterangan:

R = Realibility/ Keandalan

Q = Unreliability = Kemungkinan kegagalan

λT = laju kegagalan tiap satuan waktu (frekuensi)

Berikut hasil perhitungan nilai probabilitas kegagalan tiap basic event:

$$\lambda T = \frac{235}{365}$$

$$= 0,6438$$

$$Q = 1 - e^{-0,6438}$$

$$= 0,47$$

$$\begin{aligned} T &= (P14 \times P10) + (P14 \times P11) + (P14 \times P12) + (P14 \times P13) + (P14 \times P6 \times P7) + (P15 \times P10) + (P15 \times P11) + \\ &\quad (P15 \times P12 \times P13) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3) + (P9 \times P3) \\ &= (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + \\ &\quad (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,47) + (0,01 \times 0,47) \\ &= 0,10003 \end{aligned}$$

Grounding system adalah salah satu bagian dari SPP yang harusnya terpasang di perusahaan industri. Pada perusahaan fabrikasi boiler ini, penggunaan *grounding system* yang sesuai menurut PUIL 2011 adalah:

Tanah jenis rawa : $\rho_2 = 30 \text{ ohm}$

$$\rho_1 = 100 \text{ ohm}$$

Jenis electrode batang 5 m : $R_1 = 20 \text{ ohm}$

$$\begin{aligned} \frac{\rho_2}{\rho_1} &= \frac{R_2}{R_1} \\ \frac{30}{100} &= \frac{R_2}{20} \end{aligned}$$

$$R_2 = 6 \text{ ohm}$$

Melihat besar resistansi yang masih tidak memenuhi standar yaitu kurang dari atau sama dengan 5 ohm, maka electrode tersebut diparalel untuk memperkecil nilai resistansinya.

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \\ &= \frac{2}{6} \end{aligned}$$

$$R_p = 3 \text{ ohm}$$

Berdasarkan PUIL 2011, dapat disimpulkan bahwa untuk melindungi peralatan pada perusahaan fabrikasi boiler ini dilakukan *grounding* dengan electrode jenis batang atau pipa dengan ukuran panjang sebesar 5 meter

(mengingat tingkat efisiensi yaitu ketersediaan barang di pasaran) sebanyak minimal 2 buah. Setelah melakukan perancangan untuk pemasangan *grounding system*, berikut adalah penentuan tingkat proteksi:

- Menentukan kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan (N_g), dengan T_d adalah jumlah hari guruh per tahun. BMKG menyatakan bahwa wilayah Sidoarjo memiliki hari guruh 235 hari per tahun.

$$\begin{aligned} N_g &= 0,04 \times T_d^{1,25} / km^2 / tahun \\ &= 0,04 \times (235)^{1,25} \\ &= 36,8 / km^2 / tahun \end{aligned}$$

- Menghitung area cakupan ekivalen (A_e) untuk perusahaan fabrikasi boiler. Area cakupan ekivalen mempunyai tinggi (h) 13 meter, panjang (a) 120 meter dan lebar (b) 20 meter dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$\begin{aligned} A_e &= ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \\ &= (120 \times 20) + (6 \times 13)(120 + 20) + ([9 \times 3,14][13]^2) \\ &= 2400 + 10920 + 4775,94 \\ &= 18095,94 m^2 \end{aligned}$$

- Menghitung frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan.

$$\begin{aligned} N_d &= N_g \times A_e \times 10^{-6} \\ &= 36,8 \times 18095,94 \times 10^{-6} \\ &= 0,66 / tahun \end{aligned}$$

- Menentukan efisiensi (E) pada SPP.

$$\begin{aligned} E &= 1 - N_c / N_d \\ &= 1 - \frac{0,02}{0,66} \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

Tabel 2. Tingkat proteksi SPP

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Tabel 3. Penempatan SPP sesuai tingkat proteksi

Tingkat proteksi (protection level)	h (m)	20	30	45	60	Lebar mata jala (m)
	R(m)	α^0	α^0	α^0	α^0	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

Sumber : BSN, Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan, SNI 03-7015-2004

Melalui perhitungan dari persamaan tersebut, maka selanjutnya akan dapat diketahui untuk nilai proteksinya sesuai tabel 1. Jika nilai efisiensi (E) pada bangunan bernilai 0,96, maka sesuai tabel 1 akan diketahui tingkat proteksinya yaitu berada pada tingkat proteksi I. Sesuai SNI 03-7015-2004, bangunan area kerja perusahaan fabrikasi boiler ini membutuhkan tingkat proteksi level I yang berarti radius bola $R = 20$ m. Metode *Rolling Sphere* dilakukan dengan cara menggambarkan bangunan dan bola bergulir. Daerah antara perpotongan permukaan tanah, gedung dan keliling bola bergulir dan bangunan itu sendiri adalah daerah proteksinya. SNI 03-7015-2004, maka akan tampak daerah perlindungan sebagai berikut :



Gambar 2. Daerah perlindungan bangunan

Sumber : Izdihar, Firda Tisna. (2018). Analisis Kecelakaan Sambaran Petir Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* Untuk Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Dan Internal Pada Perusahaan Fabrikasi Boiler. Surabaya.

Jika dilihat dari gambar diatas, maka dapat diketahui bahwa air terminal SPP eksternal yang digunakan untuk melindungi gedung perusahaan fabrikasi boiler ini berjumlah 4 buah. Sementara SPP internal yang cocok untuk di pasang adalah arrester schneider jenis iPRF 12.5r dengan nilai I_{sc} 12,5 kA. Hal ini dikarenakan terdapat satu buah MCB 3 phase jenis merlin gerin dengan kekuatan arus 25 A, dan I_{sc} 4 kA dan enam buah MCB 1 phase yang akan mengalirkan ke beban pada panel di perusahaan tersebut. Setelah melakukan perbaikan pada sistem dengan merancang proteksi petir (P14), maka didapat probabilitas *top event* (T) yang akan terjadi adalah:

$$T = (P14 \times P10) + (P14 \times P11) + (P14 \times P12) + (P14 \times P13) + (P14 \times P6 \times P7) + (P15 \times P10) + (P15 \times P11) + (P15 \times P12 \times P13) + (P15 \times P6 \times P7) + (P8 \times P3 \times P11) + (P9 \times P3 \times P11)$$

$$\begin{aligned} &= (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01) + \\ &\quad (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,01 \times 0,01) + (0,01 \times 0,47 \times 0,001) + (0,01 \times 0,47 \times 0,001) \\ &= 0,00061 \end{aligned}$$

Probabilitas sistem sebelum perbaikan adalah 0,10003. Namun setelah dilakukan perbaikan, nilai probabilitas sistem menjadi 0,00061. Angka ini menunjukkan sistem tersebut dalam keadaan layak digunakan. Karena semakin kecil nilai probabilitas suatu sistem, maka akan semakin baik sistem tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Setelah dilakukan analisa menggunakan FTA, sambaran petir merupakan factor terbesar pada kerusakan mesin. Hasil analisa kuantitatif dari sistem sebelum dilakukan perbaikan (pemasangan proteksi petir) adalah 0,10003, dan setelah dilakukan perbaikan adalah 0,00061. Probabilitas tersebut menunjukkan bahwa sistem cukup bagus untuk digunakan. Ini berarti penting dipasang sistem proteksi petir ada perusahaan fabrikasi boiler tersebut.

Diperlukan electrode batang atau pipa dengan ukuran panjang 5 meter sebanyak minimal 2 buah untuk pemasangan *grounding system*.

Setelah dilakukan analisa dengan menggunakan metode *Rolling Sphere* dan teknik proteksi petir konvensional dengan radius bola 20 meter telah didapatkan jumlah finial yang dibutuhkan adalah sebanyak 4 buah. Surge arrester yang cocok untuk di pasang di panel ini adalah jenis iPRF 12.5r dengan nilai I_{sc} 12,5 kA.

DAFTAR PUSTAKA

- Ebeling, Charles E. (1997). *Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York : The McGraw – Hill Company. Inc.
- Hakim Zainal, Ir. Danial, MT, Rajagukguk Managam, ST, MT. *Perencanaan Sistem Proteksi Petir Masjid Raya Mujahidin Menggunakan Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method)*. Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Pandey, M. (2005). *Engineering and Sustainable Development: Fault Tree Analysis*. Waterloo : University of Waterloo.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-7015-2004. 2004. *Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Wulandari, Trisya. (2011). *Analisa Kegagalan Sistem Dengan Fault Tree*. Universitas Indonesia, Depok
- Taufiqurrahman (2015). *Fault Tree Analysis (FTA)*. Jakarta
- Abdul Syakur, Yuningtyastuti. *Sistem Proteksi Penangkal Petir Pada Gedung Widya Puraya*. Universitas Diponegoro, Semarang.