

Kombinasi *Software Pyrosim Fire Modelling* dan *Dow's Fire and Explosion Index (DF&EI)* untuk Analisa Resiko Kebakaran dan Ledakan pada Lpg Storage Tank

(Studi Kasus : PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan)

Esta Simanjuntak^{1*}, Agung Nugroho², Adhi Setiawan³

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail : estasilanjuntak.k3@gmail.com

Abstrak

PT.Pertamina (persero) Refinery Unit V Balikpapan memiliki 2 tangki penyimpanan LPG yaitu tangki C-20-01-A dan tangki C-20-01-B yang masing-masing kapasitasnya adalah 5.247.000 liter. LPG memiliki sifat mudah terbakar. Oleh karena itu, sebagai dasar upaya pengendalian resiko terhadap bahaya kebakaran dan ledakan, maka diperlukan analisa resiko terhadap bahaya kebakaran dan ledakan. Analisa resiko kebakaran dan ledakan pada penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu *Dow's Fire and Explosion Index (DF&EI)* dan *Software Pyrosim Fire Modelling*. Dari analisa resiko menggunakan metode DF&EI diperoleh hasil bahwa unit proses tangki penyimpanan LPG berada pada level resiko bahaya "severe" dengan luas area paparan sebesar 5.848,649352 m². Besarnya *actual* MPPD adalah sebesar Rp.6.388.690.086,00 dan besarnya *Bussiness Interruption* yang diterima karena terganggunya proses produksi selama 28 hari adalah sebesar Rp.1.374.438.240,00. Sedangkan hasil dari analisa *Pyrosim Fire Modelling*, waktu untuk mencapai temperatur desain maksimal pada tangki penyimpanan LPG C-20-01B adalah 51,94 s dengan temperatur 60,03°C. Berdasarkan perhitungan menurut CCPS, waktu BLEVE pada tangki penyimpanan LPG C-20-01A adalah 8,2 s. *Heat Release Rate (HRR)* pada saat *time to grow to maximum burning (t_{max})* 27,73 s yaitu 3,18 x 10⁹ KW. Sedangkan HRR pada saat *time to end of maximum burning and start the decay phase (t_{decay})* 158,41 s yaitu 3,05 x 10⁹ KW.

Keywords : *Dow's Fire and Explosion Index, Software Pyrosim Fire Modelling, Tangki Penyimpanan LPG*

1. PENDAHULUAN

PT.Pertamina Refinery Unit V Balikpapan merupakan perusahaan minyak dan gas yang mengolah minyak mentah (*crude oil*) sebanyak 260.000 barrel/hari. Dengan salah satu dari hasil produknya adalah LPG yang terdapat pada 2 tangki LPG yaitu tangki C-20-01-A dan tangki C-20-01-B yang masing-masing kapasitasnya yaitu 5.247.000 liter. Menurut *Material Safety Data Sheet* PT.Pertamina (Persero) RU V, LPG memiliki sifat *flammable*. Oleh karena itu tangki penyimpanan LPG harus sesuai standar yang berlaku untuk menghindari terjadinya insiden.

Beberapa kasus kebakaran dan ledakan LPG yang pernah terjadi yaitu kasus pertama merupakan kasus kebakaran dan ledakan beruntun besar (katastropik) terjadi pada penyimpanan LPG dan terminal distribusi di Mexico City. Sekitar 600 orang meninggal, 7000 orang terluka, dan 200.000 orang harus dievakuasi, dan terminal hancur (www.aiche.org). Kasus yang kedua merupakan ledakan tangki *spherical* LPG dengan kapasitas 16.000 m³ di *Duque De Caxais Refinery*, Rio de Janeiro, Brazil. Kejadian ini menyebabkan 37 orang tewas, 53 orang terluka, dan tangki LPG mengalami kerusakan (Lees, 1996). Kasus ke tiga terjadinya ledakan di *Amuay Oil Refinery*, Venezuela. Lubang bocoran pada pompa gas LPG sebesar 2,9 inch yang melepaskan 22% gas LPG dari total kapasitas tangki penyimpanan *spherical* sebanyak 564.630 liter. Kecelakaan ini menyebabkan 47 orang meninggal, serta kerusakan pos militer, *Puramin Plant* yang berdekatan dengan *Hydrogen Plant*, beberapa perumahan warga, beberapa tangki penyimpanan minyak dan gas serta fasilitas produksi LPG dengan total kerusakan \$1.84 miliar (www.reuters.com)

Berdasarkan beberapa kasus kebakaran dan ledakan yang pernah terjadi dapat digunakan sebagai gambaran dan evaluasi penerapan keselamatan dan kesehatan kerja untuk menghindari terulangnya kejadian-kejadian tersebut dengan melakukan analisa penyebab yang memungkinkan terjadinya kebakaran dan ledakan LPG dengan metode *Fault Tree Analysis*. Kemudian dilakukan analisa dampak kebakaran dan ledakan dengan metode *Dow's Fire & Explosion Index*. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan *Software Pyrosim Fire Modelling* untuk mengetahui *heat release rate*, dan hubungan temperatur terhadap waktu akibat kebakaran pada *Storage Tank C-20-01A* terhadap tangki di sekitarnya.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Penelitian secara deskriptif dilakukan dengan analisa *basic cause Jet Fire, Vapor Cloud Explosion (VCE), Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)* pada tangki penyimpanan LPG dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* serta pemodelan kebakaran dengan menggunakan *Software Pyrosim Fire Modelling*. Penelitian secara kuantitatif dilakukan dengan metode *Dow's Fire and Explosion Index (DF&EI)*. Penelitian ini dilakukan pada tangki penyimpanan LPG C-20-01A dan C-20-01B PT.Pertamina (Persero) *Refiney Unit V Balikpapan*. Pengumpulan data dilakukan secara primer dan sekunder. Keterbatasan penelitian ini adalah penelitian ini tidak membahas keandalan *safety devices* dan faktor *human error*. Penelitian ini menggunakan unsur yang memiliki kuantitas terbesar dalam LPG campuran yaitu butana dan propana. Dikarenakan Pemodelan kebakaran *Software Pyrosim Fire Modelling* hanya dapat dilakukan pada satu *surface fire* maka pemodelan kebakaran dilakukan pada salah satu tangki yaitu tangki penyimpanan LPG C-20-01A. Pemodelan pada *Software Pyrosim Fire Modelling* dengan asumsi pada saat tangki sudah terbakar dan tidak mensimulasikan ledakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi *Fault Tree Analysis (FTA)*

- 9 *basic cause Jet Fire* yang kemungkinan terjadi pada *LPG Storage Tank* yaitu adanya energi ledakan, panas dari luar tangki, listrik, pelepasan dari *upstream pipeline*, pelepasan dari *upstream pipeline joints*, Plat *LPG Storage Tank*, Pelepasan dari *valves*, Pelepasan dari *downstream pipeline*, Pelepasan dari *downstream pipeline joints*.
- 6 *basic cause Vapor Cloud Explosion (VCE)* yaitu energi ledakan, panas dari luar tangki, listrik, kelebihan tekanan internal, *Valve* gagal menutup, kebocoran pada *pipeline*.
- 14 *basic cause Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)* yaitu api eksternal, tekanan mekanis, gelombang tekanan, perubahan fase, *safety release* tidak memadai, *safety* atau *relief valve* terhambat, kegagalan *pressure control*, pemilihan material yang tidak tepat, proteksi korosi yang tidak memadai, cacat tidak terdeteksi saat dilakukan tes material, fabrikasi yang cacat, lama penggunaan, tidak ada suplai air, *deluge valve* gagal membuka.

B. Perhitungan *Dow's Fire and Explosion Index (DF&EI)*

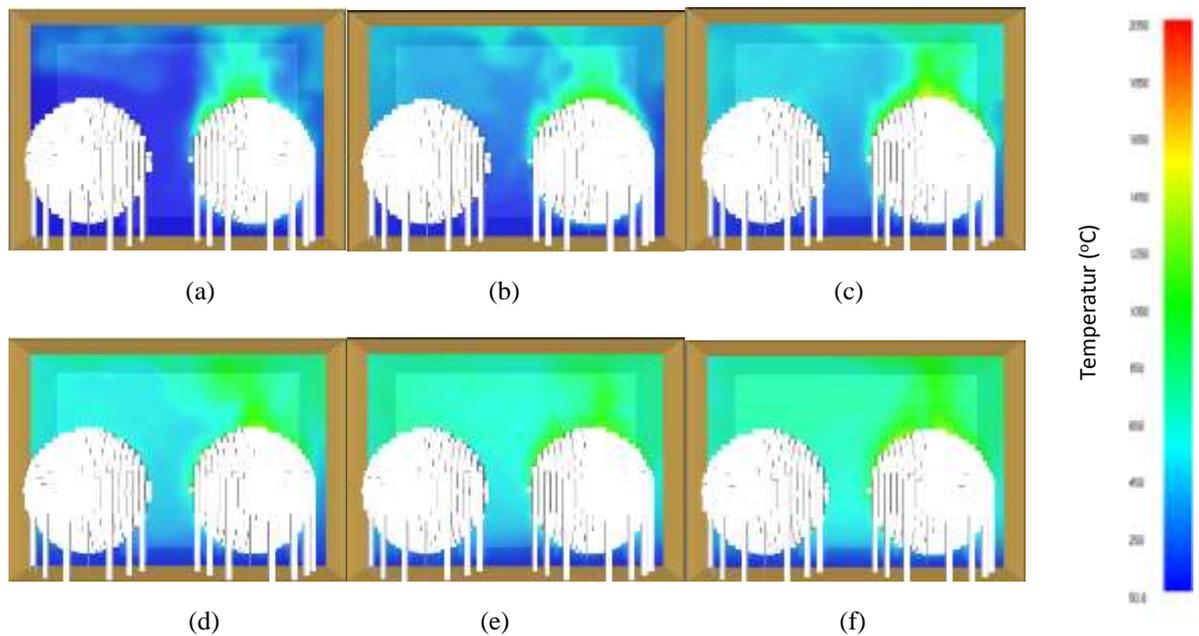
Nilai *General Process hazard Factor (F₁)* yaitu 1,50 dan nilai *Special Process Hazard Factor (F₂)* yaitu 5,347777. Sehingga nilai *Process Unit hazard Factor (F₃)* adalah 8,0216655.

Nilai *Material Factor (MF)* pada LPG yaitu 21. Dengan demikian hasil dari perkalian MF dan *F₃* diperoleh *Fire and Explosion Index (F&EI)* yaitu 168,4549755 sehingga masuk ke dalam kategori "severe". Berdasarkan nilai F&EI diperoleh nilai jarak radius paparan kebakaran yaitu 43,15816472 m dan luas area yang terpapar adalah 5.848,649352 m². Besarnya kerugian dari nilai asset yang terbakar

yaitu Rp. 19.934.766.901,49. Besarnya nilai kerugian yang diterima karena tidak ada bentuk pencegahan, pengendalian dan penanganan, terhadap timbulnya kondisi abnormal atas bahaya-bahaya yang terdapat pada unit *LPG storage (Base MPPD)* yaitu Rp. 14.553.846.215,00. Besarnya kerugian akibat suatu *incident* yang diterima jika telah ada usaha pengendalian yang dilakukan (*Actual MPPD*) yaitu Rp. 6.388.690.086,00. Dan besarnya *Bussiness Interruption* yang diterima karena terganggunya proses produksi selama 28 hari adalah sebesar Rp.1.374.438.240,00.

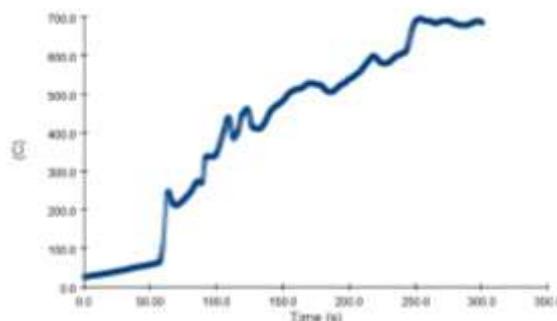
C. Analisa Pyrosim Fire Modelling

Tangki yang termasuk dalam *area of exposure* paparan kebakaran dan ledakan tangki LPG yaitu tangki *spherical LPG C-20-01A* dan *C-20-01B*. dengan demikian dilakukan pemodelan kebakaran tangki dengan menggunakan *Software Pyrosim Fire Modelling*. Dikarenakan *Pyrosim Fire Modelling* hanya dapat mensimulasikan 1 kebaran pada 1 *surface fire* maka pemodelan kebakaran dilakukan pada tangki salah satu tangki yaitu tangki *LPG C-20-01A*. *Contour* temperatur dalam interval 50 s (a), 100 s (b), 150 s (c), 200 s (d), 250 s (e), 300 s (f) dapat dilihat pada Gambar 3.1.



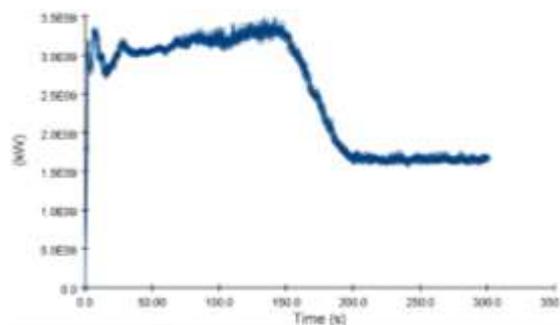
Gambar 3.1 Contour Temperatur dalam interval kenaikan 50 s

Contour temperatur tersebut merupakan *Contour* temperatur dalam kondisi *unsteady state*. Kondisi *unsteady state* merupakan adanya perubahan temperatur pada suatu media berdasarkan fungsi waktu. Pada simulasi diatas, terjadi perpindahan panas secara konveksi dari tangki C-20-01A ke lingkungan sekitarnya. Perpindahan panas dengan cara konveksi terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari butana yang terbakar ke permukaan tangki. Kedua, seiring bertambahnya waktu, maka suhu pembakaran butana semakin tinggi. Ketiga, suhu pembakaran butana akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah, hal inilah yang disebut perpindahan panas secara konveksi (Eko Prasetya Budiana, 2011). Kondisi *unsteady state* membutuhkan waktu untuk membuat temperatur material yang terbakar sama dengan temperatur di sekitarnya (temperatur lingkungan).



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Temperatur dan Waktu Pada Tangki Penyimpanan LPG C-20-01B

Berdasarkan Gambar 3.2, suhu yang diterima oleh tangki C-20-01B pada waktu 51,94 s yaitu 60,03°C. Berdasarkan standar temperatur desain maksimal *spherical tank* PERTAMINA RU V yaitu 60°C. Apabila tangki telah terpapar temperatur diatas temperatur maksimal desainnya dan suhu terus menerus meningkat maka akan terjadi *secondary accident* pada tangki yang terpapar yang dikenal dengan istilah *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* (BLEVE). Kenaikan suhu secara signifikan yang diterima oleh tangki C-20-01B terjadi pada waktu 59,26 s yaitu sebesar 102,77°C. Hal ini merupakan tahap terjadinya *flashover* yaitu masa transisi dari tahap pertumbuhan api ke tahap pembakaran penuh dimana proses berlangsung sangat cepat. Pada pembakaran penuh, suhu terus meningkat. Adanya penurunan suhu yang tidak signifikan pada pembakaran penuh dipengaruhi oleh turbulensi udara. Turbulensi udara terjadi akibat perbedaan suhu dan tekanan sehingga gerakan udara tidak beraturan atau berputar tidak beraturan (Curry & Webster, 1999). Hasil perhitungan waktu BLEVE butana berdasarkan CCPS yaitu 8,2 s.



Gambar 3.3 Grafik Heat Release Rate Pada Tangki Penyimpanan C-20-01A

Gambar 3.3 merupakan grafik *Heat Release Rate* (HRR) pembakaran butana pada tangki LPG C-20-01A. HRR adalah energi yang terlepas dari bahan bakar yang terbakar. HRR Pada saat *time to grow to maximum burning* (t_{max}) 27,73 s yaitu $3,18 \times 10^9$ KW, Hal ini dikarenakan pada waktu itu api sedang mengalami masa pertumbuhan api pertama dimana cukup bahan bakar dan oksigen untuk kebakaran berlangsung. Fase ini akan berada pada titik HRR maksimum sebelum terjadi penurunan HRR yang signifikan yang disebut dengan *time to end of maximum burning and start the decay phase*. HRR pada saat *time to end of maximum burning and start the decay phase* (t_{decay}) 158,41 s yaitu $3,05 \times 10^9$ KW. Setelah memasuki fase *decay*, nilai HRR akan turun secara signifikan. Pada fase ini biasanya pertumbuhan api menjadi tidak stabil dikarenakan oleh beberapa faktor eksternal (seperti udara masuk, jumlah bahan bakar yang berkurang) dan terlibat dalam proses kebakaran yang terjadi (Andrea Dusso, 2016).

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisa resiko dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* pada tangki penyimpanan LPG maka diperoleh:
 - 9 *basic cause Jet Fire* yaitu adanya energi ledakan, panas dari luar tangki, listrik, pelepasan dari *upstream pipeline*, pelepasan dari *upstream pipeline joints*, Plat *LPG Storage Tank*, Pelepasan dari *valves*, Pelepasan dari *downstream pipeline*, Pelepasan dari *downstream pipeline joints*.
 - 6 *basic cause Vapor Cloud Explosion* (VCE) yaitu energi ledakan, panas dari luar tangki, listrik, kelebihan tekanan internal, Valve gagal menutup, kebocoran pada *pipeline*.
 - 14 *basic cause Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* (BLEVE) yaitu api eksternal, tekanan mekanis, gelombang tekanan, perubahan fase, *safety release* tidak memadai, *safety* atau *relief valve* terhambat, kegagalan *pressure control*, pemilihan material yang tidak tepat, proteksi korosi yang tidak memadai, cacat tidak terdeteksi saat dilakukan tes material, fabrikasi yang cacat, lama penggunaan, tidak ada suplai air, *deluge valve* gagal membuka.
- Berdasarkan perhitungan *Dow's Fire and Explosion Index* (DF&EI) radius paparan kebakaran dan ledakan pada *LPG Storage Tank* C-20-01A dan C-20-01B yaitu 43,15816472 m dan luas area paparan kebakaran dan

ledakan yaitu 5.848,649352 m². Besarnya kerugian yang diperoleh apabila terjadi kebakaran dan ledakan ledakan pada LPG Storage Tank C-20-01A dan C-20-01B yaitu sebagai berikut:

- Besarnya kerugian dari nilai asset yang terpapar kebakaran yaitu adalah Rp.19.934.766.901,49
 - Besarnya *Base* MPPD yaitu Rp.14.553.846.215,00
 - Besarnya *Actual* MPPD yaitu Rp.6.388.690.086,00
 - Besarnya *Bussiness Interruption* yang diterima akibat kerusakan peralatan produksi selama 28 hari adalah Rp. 1.374.438.240,00
3. Suhu yang diterima oleh tangki LPG C-20-01B pada waktu 51,94 s adalah 60,03°C, suhu tersebut telah melebihi standar temperatur desain maksimal *spherical tank* PERTAMINA RU V yaitu 60°C. Apabila tangki telah terpapar temperatur diatas temperatur maksimal desainnya dan suhu terus menerus meningkat maka akan terjadi *secondary accident* pada tangki yang terpapar yang dikenal dengan istilah *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* (BLEVE). Menurut perhitungan CCPS, lamanya waktu BLEVE butana pada tangki C-20-01A adalah 8,2 s. Sedangkan, HRR Pada saat *time to grow to maximum burning* (t_{max}) 27,73 s yaitu $3,18 \times 10^9$ KW. Sedangkan HRR pada saat *time to end of maximum burning and start the decay phase* (t_{decay}) 158,41 s yaitu $3,05 \times 10^9$ KW.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Chemical Engineers, 1994. *Dow's Fire & Explosion Index Hazards Classification Guide*. Seventh Edition, New York.
- Andrea Dusso, dkk., 2016. Rapid Estimation of the Heat Release Rate of Combustible Items. Vol 53, The Italian Association of Chemical Engineering.
- CCPS, 2000. *Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis Second Edition*. New York: AIChE
- Curry, J. A., & Webster, J.P., 1999. *Thermodynamics of Atmosphere and Ocean*, London : Academic Press.
- Eko Prasetya Budiana, dkk., 2011. Simulasi Numerik Perpindahan Panas Aliran Udara Ventilasi 2 Dimensi Dengan Metode Beda Hingga. Universitas Sebelas Maret.
- Lees, F.P., 1996. *Loss Prevention in the Process Industri: Hazard Identification, Assessment and Control*. Volume 3, Second Edition. Loughborough University, United Kingdom.
- Pardede, P. dan Robiana Modjo, 2014. Kajian Pre-Fire Planning Pada Tangki Timbun Bahan Bakar (BBM) Dengan Menggunakan Pemodelan Pyrosim Di PT. Pertamina Plumpang Jakarta Barat. Departemen K3-FKM, Universitas Indonesia.
- Thunderhead Engineering, 2014. *Pyrosim User Manual*.
- Thunderhead Engineering, 2014. *Pyrosim Example Guide*.
- Marianna Parraga, 2012. *Pump collapse, leak caused Venezuela refinery blast*. [ONLINE]. Available at : [URL:http://www.reuters.com/article/us-oil-venezuela-refinery-idUSBRE9880Z820130909](http://www.reuters.com/article/us-oil-venezuela-refinery-idUSBRE9880Z820130909). [Accessed 27 Oktober 2016]
- CCPS, 2009. BLEVE. [ONLINE]. Available at : <http://www.aiche.org/CCPS/Publications/Beacon/index.aspx>. [Accessed 27 Oktober 2016]

Evaluasi dan Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal Divisi Fabrikasi Baja pada Perusahaan Manufaktur

Maulidatun Ni'mah^{1*}, Annas Singgih Setiyoko², Rona Riantini³

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: maulidatunnimah647@gmail.com

Abstrak

Petir adalah gangguan alam yang sering terjadi di Indonesia. Maka dari itu bangunan-bangunan di Indonesia memiliki resiko lebih besar mengalami kerusakan akibat terkena sambaran petir. Intensitas petir yang tinggi di Gresik, yakni 102 hari guruh per tahun merupakan ancaman serius bagi struktur bangunan divisi fabrikasi baja perusahaan manufaktur ini. Menyadari kondisi tersebut, perlu dilakukan evaluasi sistem proteksi petir sehingga dapat bekerja dengan efektif dan efisien dan tidak mengganggu proses produksi di struktur bangunan divisi fabrikasi baja perusahaan manufaktur ini. Peningkatan performa sistem terhadap gangguan akibat petir dapat dilakukan dengan mengevaluasi dan merancang sistem proteksi petir eksternal (terminal udara, penghantar turun, serta sistem pentanahan) dan sistem proteksi petir internal.

Dengan analisis menggunakan metode sudut proteksi ditemukan bahwa pemasangan terminal udara pada struktur bangunan masih belum dapat memberikan perlindungan yang baik pada bangunan. Evaluasi dan Perancangan Sistem proteksi Petir internal dan eksternal berdasarkan Per. No.02/MEN/1989, SNI, PUIL, dan IEEE.

Sistem proteksi petir internal pada struktur bangunan sebaiknya setiap panel yang berisi peralatan elektronis dan instrumen dipasang arester yang digunakan untuk mengantisipasi efek sambaran petir tidak langsung. Sementara itu sistem proteksi petir eksternal berdasarkan metode sudut proteksi (PER No.02/MEN/1989) air terminal yang seharusnya terpasang sebanyak 16 buah, *down conductor* sebanyak 10 buah pada sisi kanan dan kiri bangunan, dan elektroda *grounding* > 4 buah atau dapat mengikuti *down conductor* agar nilai resistan pembumiannya < 5Ω. Untuk tindakan preventive maintenance dapat berupa pemberian kode pada setiap *grounding* agar mempermudah pengecekan, serta terdapat jadwal pengecekan sistem proteksi petir.

Kata kunci: petir, penangkal petir, terminal udara, *down conductor*, *grounding*, arrester

1. PENDAHULUAN

Divisi fabrikasi baja perusahaan manufaktur ini terletak di kota Gresik dan termasuk ke dalam daerah dengan kemungkinan kejadian sambaran petir yang cukup tinggi. Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), menyatakan bahwa Surabaya dan sekitarnya termasuk Gresik berada pada wilayah dengan tingkat sambaran petir rata-rata cukup tinggi per tahunnya (hari guruh) 102 per tahun. Pada tahun 2014 tepatnya pada tanggal 21 Oktober pukul 15.15 WIB terjadi sambaran petir pada divisi fabrikasi baja perusahaan manufaktur ini yang mengakibatkan kerusakan pada jaringan wifi client, kerusakan server local area kerja dan kerusakan pada beberapa komputer.