

Dampak Tegangan Induksi Petir pada Tangki Penyimpanan Bahan Bakar Cair *Flammable*

Budi Utama

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : budiutamaduautama@gmail.com

ABSTRAK

Tulisan ini menganalisis tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam tangki penyimpanan bahan bakar ketika sebuah sambaran petir memukul *lightning rod* di atas menara/tiang proteksi. Tiang atau menara proteksi dan *lightning rod* masing masing dengan ketinggian 33 m dan 6 m. Perhitungan tegangan induksi disimulasikan dengan menggunakan perangkat program Matlab untuk mendapatkan bentuk gelombang impuls dan nilai tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam struktur tangki. Analisis ini menggambarkan bahwa tegangan induksi petir bervariasi terhadap jarak antara posisi *lightning rod* dan letak tangki, sehingga setiap perubahan nilai tegangan induksi diikuti dengan perubahan batasan celah udara minimum di dalam tangki bahan bakar cair. Hasil simulasi ini sangat penting untuk mengetahui parameter parameter yang menyebabkan terjadi kebakaran dan ledakan pada tangki penyimpanan bahan bakar cair yang bersifat gampang menyala (*flammable*).

Kata Kunci : Tegangan Induksi, Petir, Tangki, *Flammable*.

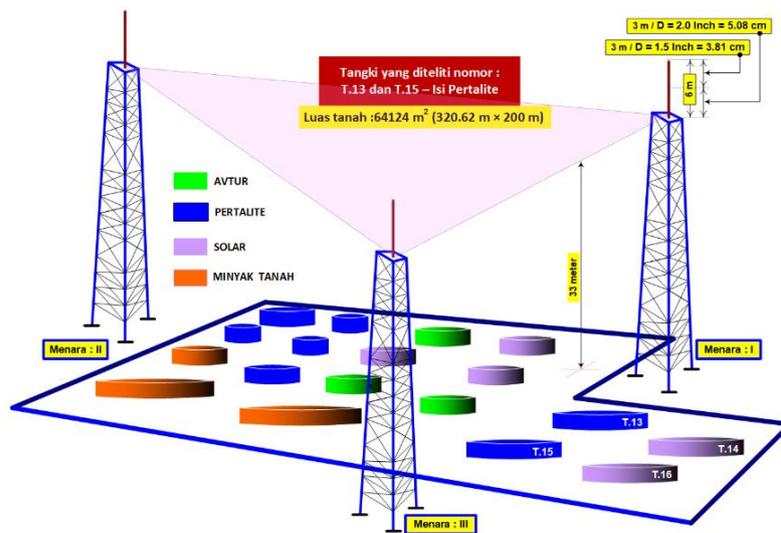
ABSTRACT

This paper analyses the induced voltage of the lightning that accumulated into the body of the fuel tank structure, moment after a lightning stroke hit the rod of lightning protection at the top of its protection tower. The protection mast and the lightning rod are 33 m and 6 m in height respectively. The calculation of the induced voltage were simulated and carried out using Matlab software for finding the shape impulse wave and magnitude of the inducing voltage of the lightning that were accumulated in the tank structure. This analysis depicts that the lightning induction voltage varies with the distance between the lightning rod position and tank location, so that any changes in the induced voltage value are followed by changes the limitation of the minimum air gap in the tank. The results are very important to know the parameters that causes a fire and an incendive spark in the tank.

Keywords : *Induced Voltage, Lightning, Tank, Flammable.*

1. PENDAHULUAN

Tempat penyimpanan bahan bakar cair (jenis *pertalite* atau *premium*) di depo Pertamina Rewulu terdiri dari beberapa tangki penyimpanan (tidak kurang 18 tangki) yang semuanya diproteksi melalui 3 buah *tower*, masing masing *tower* terhubung dengan sisi sisi yang secara keseluruhan membentuk sebuah bidang-bangun-segitiga. Ketiga *tower* ini di posisikan sedemikian rupa sehingga ke 18 tangki penyimpanan yang ada di bawahnya masuk dalam jangkauan radius proteksi yang diinginkan. Lapangan tanah yg dibebaskan untuk instalasi 18 tangki tersebut seluas 64124 m² (320.62 m × 200 m). Fenomena elektrostatik, induksi, dan fenomena radiasi ditimbulkan oleh pemunculan *stepped leader* dari suatu sambaran petir. Fenomena elektrostatik didominasi oleh dampak sambaran petir dengan jarak yang kecil/pendek. Sedangkan untuk fenomena radiasi adalah untuk dampak sambaran petir dengan jarak yang jauh, dan induksi adalah pengaruh sambaran petir yang berdampak pada jarak menengah / *intermediate* [1]. Tulisan ini menganalisis dampak induksi sambaran petir yaitu pada jarak menengah.



Gambar 1. Bentuk dan dimensi kawasan penyimpanan bahan bakar cair Rewulu Unit Pemasaran IV Daerah Istimewa Yogyakarta

Medan elektrostatik dapat menimbulkan percik kapasitif pada celah celah kecil yang terdapat pada permukaan struktur tangki bahan bakar cair tersebut. Ketinggian *tower* 33 meter dengan *lightning rod* setinggi 6 meter.

Sebuah tangki penyimpanan bahan bakar dimana didalamnya terdapat bahan bakar cair yang gampang menyala (*flammable*) berpotensi untuk terkondisi *stoichiometric*. Kondisi *stoichiometric* adalah suatu kondisi campuran yang tepat antara udara dan uap bahan bakar cair yang ada di dalam tangki yang sudah siap menjadi *flammable* (gampang menyala) dan hanya tinggal menunggu percikan api. Fenomena ini terjadi pada insiden kebakaran tangki nomor 24 di depo Pertamina Plumpang, Jakarta Utara pada hari Minggu, 18 Januari 2009, sekitar pukul 21:00 WIB. Hasil penyelidikan gabungan dari tiga instansi yaitu : tim dari Markas Besar Polri, tim ahli dari Pertamina Pusat dan tim ahli Migas, menemukan bahwa kebakaran disebabkan oleh tekanan dari dalam tangki yang tidak mampu diantisipasi oleh sistem pengaman tangki, demikian dikatakan oleh juru bicara Markas Besar Polri, Inspektur Jendral Abubakar Nataprawira, di Markas Besar Polri, Jakarta Selatan, Selasa 20 Januari 2009.

Selanjutnya dalam proses pengisian tangki nomor 24 (tangki yang meledak) dilakukan pada pukul 18:12 WIB saat itu tangki sudah terisi bahan bakar setinggi 1.4 meter (padahal ketinggian tangki 10 meter), jadi ada ruang / celah setinggi ($10\text{ m} - 1.4\text{ m} = 8.6\text{ meter}$). Sebetulnya ruang celah ini tidak kosong medianya, akan tetapi terisi dengan uap dari bahan bakar itu sendiri (yaitu bensin) yang bercampur dengan oksigen yang ada di celah udara tsb sehingga ruangnya akan menjadi tambah 'pepat' (merata, penuh) oleh campuran antara 'uap bahan bakar' dan 'udara' yang masih ada kandungan oksigennya. Dalam kondisi seperti ini keadaan *stoichiometric*-nya sudah dicapai hanya tinggal menunggu pemunculan sumber percikan jentik apinya saja. Apabila jentik api itu sudah tercipta maka jentik api ini akan bertemu dengan kondisi celah yang sudah dalam keadaan *stoichiometric*. sehingga pada akhirnya membuat tangki itu meledak (berpotensi untuk meledak atau *incendive spark*). Pengisian tangki dilakukan sekitar pukul 18.12 WIB dari kapal *Sun Raising* yang berlabuh di dermaga Tanjung Priok. "Jarak antara kapal dan depo sekitar 5 kilometer".

Fenomena elektrostatik dapat terbangkit jika suatu zat cair (maksudnya : bahan bakar cair) bergerak bersinggungan dengan material lain. Muatan ini biasanya terjadi ketika mengalir melalui pipa pipa atau selama proses pencampuran (*fixing*), penuangan (*pouring*), pemompaan (*pumping*), penyaringan (*filtering*), dan proses pengadukan (*agitating*)[2]. Pada kondisi tertentu, khususnya dalam *hydrocarbon*, muatan (listrik) statis ini dapat terakumulasi di dalam zat cair. Lebih lanjut dikatakan bahwa jika akumulasi muatan ini sudah cukup (terpenuhi), maka suatu percikan statis (*static spark*) dapat terjadi dan bila ini terjadi mendekati pada suatu sifat yang dapat terbakar dari suatu campuran uap udara (*vapor-air*) maka segera akan dapat terjadi suatu penyalan awal (*start ignition*). Penyalan awal (*start ignition*) ini dapat membahayakan bila terjadi di dalam tangki penyimpanan bahan bakar cair (juga termasuk bahan bakar cair jenis *premium* atau *pertalite*) yang pada kondisi tertentu dapat mengalami suatu kondisi dimana campuran antara gas bahan bakar dan udara mengalami status *stoichiometric*. Sumber penyalan awal ini dapat berbentuk sebagai fenomena 'pelepasan elektrostatik' (*electrostatic discharge*, ESD) yang terjadi di dalam tangki penyimpanan bahan bakar cair [2].

Sebuah sambaran petir yang mengenai puncak struktur menara proteksinya (baik menara proteksi I, II, maupun me-nara proteksi III, sebagaimana ditunjukkan Gbr.1) akan memberikan suatu nilai / angka tegangan yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki bahan bakar, tegangan ini dikenal sebagai tegangan induksi petir (V_i), dimana petirnya me nyambar di puncak menara proteksinya tetapi tegangan induksinya (*induced voltage*) akan terakumulasi di dalam struktur metal tangki bahan bakar. Lebih lanjut tegangan induksi inilah yang akan memicu percikan kecil busur api yang menjelma sebagai peluahan elektrostatis (*electrostatic discharge*, ESD) pada celah celah kecil udara yang ada di dalam tangki bahan bakar. Cela akan terjadi bila ada baut yang longgar di dalam tangki atau ada dua elektroda metal di dalam struktur tangki yang tidak terkunci kuat (bautnya longgar). Jika tegangan induksi V_i (*induced voltage*) ini melebihi tegangan penyalan minimum tangki (V_P) maka akan terjadi percikan bunga api listrik sebagaimana yang dikenal dengan *electrostatic discharge* atau ESD.

Tegangan penyalan minimum (V_P) diperoleh dari hasil sebuah eksperimen laboratorium dimana tangki bahan bakar dimodelkan dengan sebuah cerat bensin (*gasoline*) yang sedang dituangkan. Eksperimen ini menghasilkan kurva hubungan antara tegangan penyalan minimum dan nilai kapasitans cerat terhadap tanah, Cog [3]. Sedangkan nilai tegangan induksi yang terakumulasi di dalam struktur tangki (V_i) dihitung melalui model matematik yang pernah digunakan dalam menentukan tegangan induksi pada saluran udara 11 kV standard ESCOM (*Electricity Supply Commission of Malawi*), konstruksi tiang kayu, terletak 30 km sebelah timur kota Pretoria (50 km di utara Johannesburg) yang merupakan ibu kota Afrika Selatan [4].

Tulisan ini menganalisis tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki penyimpanan bahan bakar cair sebagai unsur (*agent*) pemicu percikan busur api dalam bentuk ‘peluahan elektrostatis’ (*Electrostatic Discharge*, ESD) dan menghitung tegangan penyalan tangki bahan bakar *flammable*, dimana perbandingan antara variable V_i (tegangan induksi) dan V_P (tegangan penyalan minimum) sebagai indikator kapan suatu percik api terjadi di dalam tangki penyimpanan bahan bakar cair, dan juga dapat memperoleh bentuk *impulse* tegangan induksi yang ditimbulkan oleh setiap arus sambaran petir yang disimulasikan.

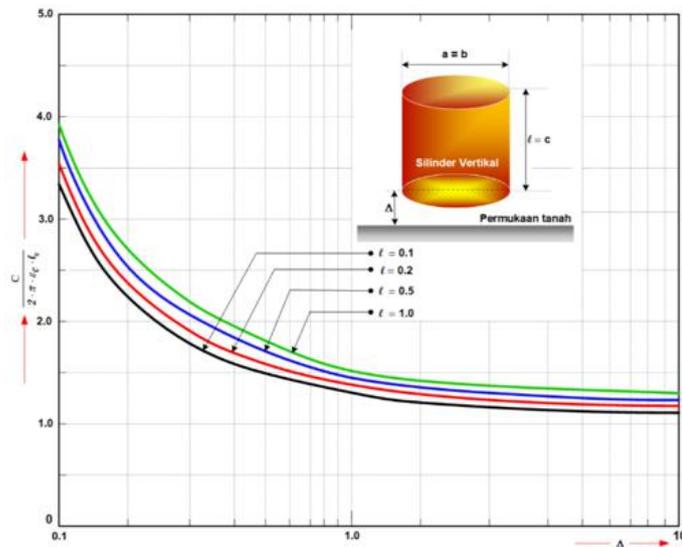
2. METODE PENELITIAN

2.1 Beberapa Terminologi

Tegangan penyalan minimum (V_P) adalah nilai tegangan yang muncul di dalam kapasitor diantara celah kedua elektrodanya dimana medan listrik yang ada di dalam celah tsb sudah mampu membuat suatu percik kapasitip (*Capacitive Spark Discharge*). Tegangan penyalan minimum ini dipicu oleh invasi (*invansion*) dari tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki penyimpanan bahan bakar cair. Peluahan elektrostatis (*electrostatic discharge*) adalah pelepasan / peluahan muatan listrik statis dalam bentuk aliran listrik tiba-tiba antara dua benda bermuatan listrik yang disebabkan oleh kontak, arus pendek listrik, atau gangguan bahan medium dielektrik. Penumpukan listrik statis dapat disebabkan oleh pengisian baterai atau oleh induksi elektrostatis yang dalam kasus ini ditimbulkan oleh tegangan induksi petir. Standard ESCOM adalah singkatan dari *Electricity Supply Corporation of Malawi* yang merupakan standarisasi yang digunakan oleh perusahaan listrik milik negara *Malawi* yang mengendalikan transmisi dan distribusi tenaga listrik di negara *Malawi*. Semua bentuk regulasi ketenagaan listrik dikendalikan oleh ESCOM mewakili Malawi di *pool* Daya Afrika Selatan.

2.2 Proses Pembuatan Modelling

Di dalam penentuan besar tegangan penyalan (V_P) dibutuhkan nilai kapasitans sebuah tangki terhadap tanah (Cog) dengan bantuan grafik sebuah struktur tangki dalam bentuk model silinder vertical [5].



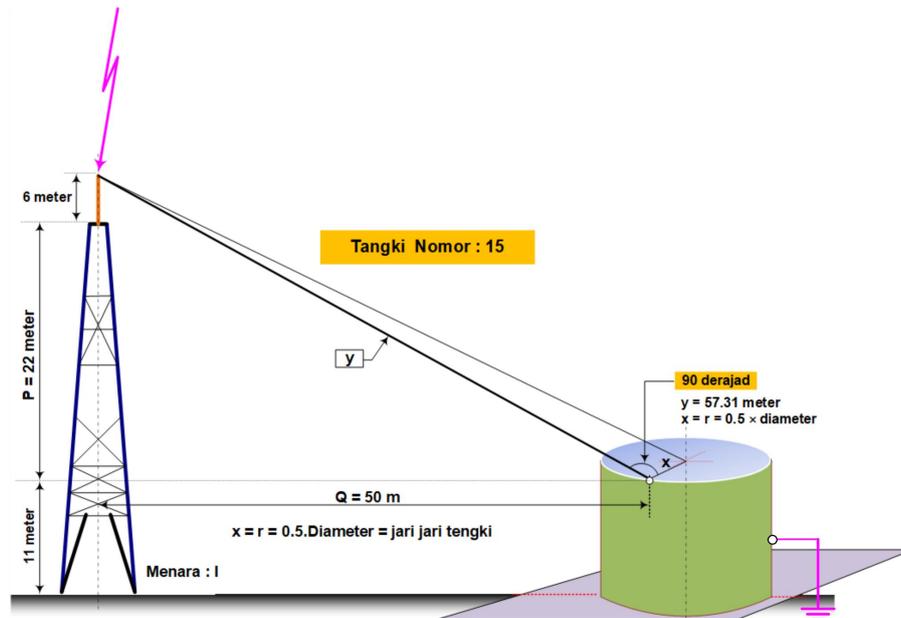
Gambar 2. Grafik Kurva Penentuan Kapasitans Silinder Vertikal

2.3 Modelling Formulasi

Untuk menentukan nilai tegangan induksi petir digunakan model formulasi standard ESCOM, karena formulasi ini memerlukan data dan parameter yang praktis dan tersedia di lapangan.

$$V_i = U = Z_0 \cdot I \cdot h \cdot \beta \left[\frac{(c \cdot t - x)}{\{y^2 + \beta^2 \cdot (c \cdot t - x)^2\}} \right] \times \left[1 + \frac{\{\beta^2 \cdot (c \cdot t - x) + x\}}{\sqrt{\{\beta^2 \cdot c^2 \cdot t^2 + (1 - \beta^2) \cdot (x^2 + y^2)\}}} \right] \quad (1)$$

dengan, $U = V_i$ (tegangan induksi petir) ; I = Amplitudo arus petir ; x dan y = variabel jarak (dengan sisi siku siku) antara titik sambaran petir di puncak menara proteksi dan titik pusat permukaan atas tangki bahan bakar ; c = kecepatan cahaya (meter per detik) ; I = Amplitudo arus petir (Amper) ; t = waktu tinjauan terhadap satu sambaran petir (detik) ; β = perbandingan antara kecepatan lidah perintis (*leader*) petir dan kecepatan cahaya, yaitu = 0.3 ; $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ (F/m) ; dan $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ (H/m) ; t_0 = waktu yang diperlukan gelombang elektromagnetik dalam rambatannya dari titik sambaran (x_0, y_0) mencapai titik sejauh r meter dan h = ketinggian titik yang disambar petir (meter). Berikut gambar 3 menunjukkan lokasi dan proses pengukuran parameter untuk data simulasi pada program Matlabnya.



Gambar 3. Dimensi pola ruang tangki bahan bakar

Untuk menentukan nilai kapasitan tangki (Cog) = C, gunakan Gbr. 2, yaitu memakai hubungan invers antara nilai keseluruhan :

$$\frac{C}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot l_e} \tag{2}$$

Dengan nilai Δ yang berada pada axis Gbr. 2. Sedangkan nilai $le = le$ = panjang eqivalen dihitung melalui Gbr. 2

$$= \frac{a + b + c}{3} \tag{3}$$

dengan a = panjang horizontal tangki (meter) ; b = lebar horizontal tangki (meter) ; c = ketinggian tangki (meter). Nilai Δ yang dinormalisasi adalah Δ' = (Δ/a) = jarak paling kecil antara dasar tangki dan permukaan tanah yang telah dinormalisasi untuk diaplikasikan ke Gbr. 2. Dengan demikian nilai C dapat dihitung,

$$C = (2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot le) \times \Delta' \tag{4}$$

Maka dapat dihitung :

a. Nilai tegangan penyalan [2] :

$$V_p = 4.6 \times (C)^{-0.3} \tag{5}$$

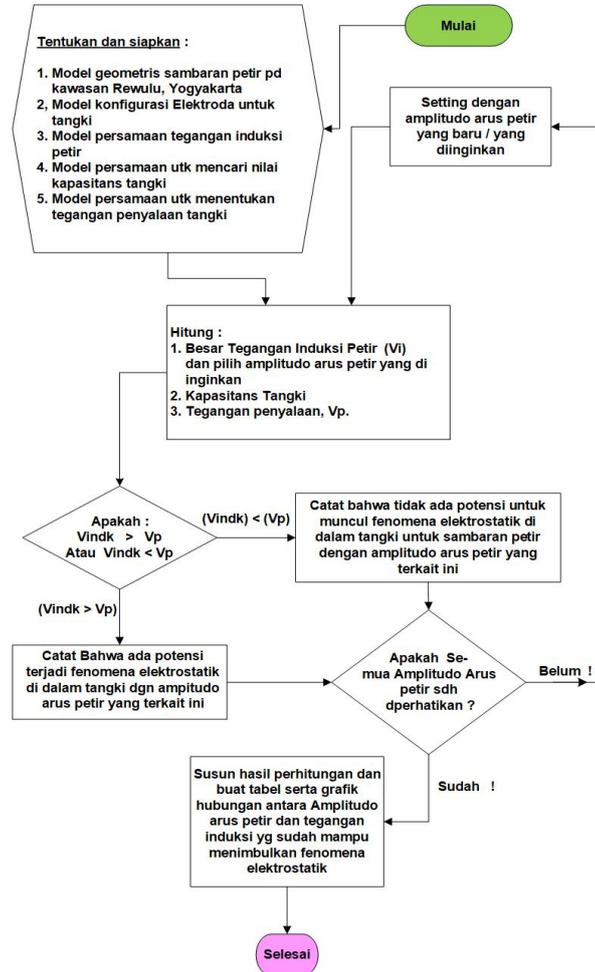
b. Penentuan luah elektrostatis (*Electrostatic Discharge*, ESD) di dalam tangki dengan cara membandingkan nilai tegangan induksi (Vi) pada persamaan (1) dengan nilai tegangan penyalan (Vp) pada persamaan (5), sehingga :

1. Jika perbandingan antara Vi dan Vp lebih besar daripada 1 berarti terjadi peluahan elektrostatis (*Electrostatic Discharge*, ESD).
2. Jika perbandingan antara Vi dan Vp lebih kecil daripada 1 berarti tidak terjadi peluahan elektrostatis (*Electrostatic Discharge*, ESD), dan

- Jika perbandingan antara V_i dan V_p sama dengan 1 berarti terjadi kondisi kritis kemungkinan terjadi pelepasan elektrostatik (*Electrostatic Discharge, ESD*)

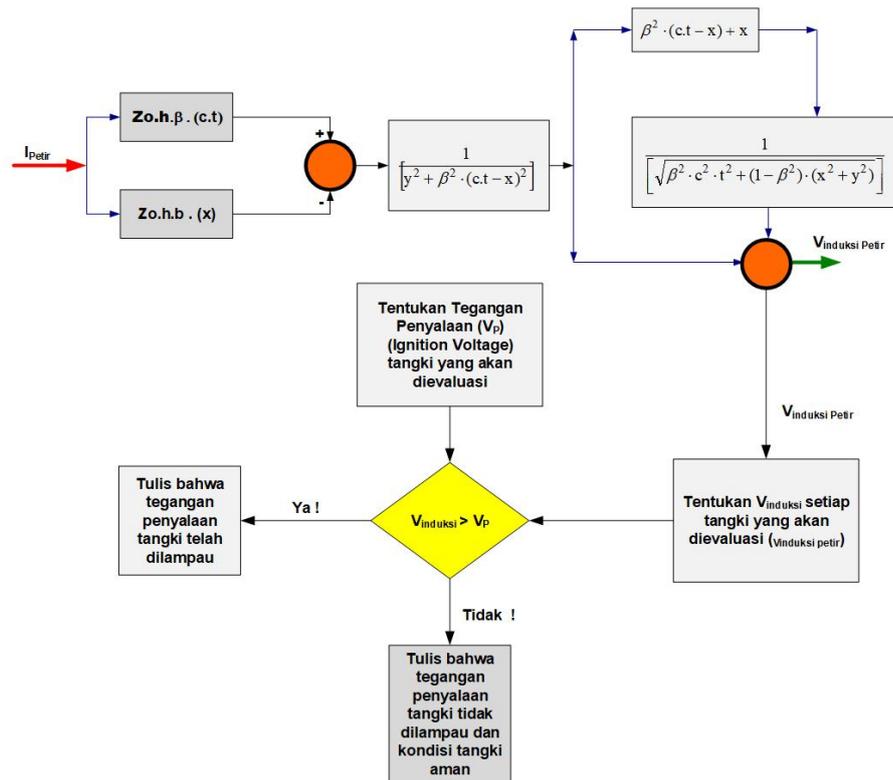
2.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian simulasi dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 4 Alur Diagram Pelaksanaan penelitian

Hubungan antara variabel yang diteliti (V_i) dan variabel bebas (Amplitudo arus petir I_{petir} , I_{petir})



Gambar 5. Variabel yang diteliti (V_i) yang dibandingkan dengan Tegangan Penyalan (V_p) untuk mengetahui Fenomena *Electrostatic Discharge* (ESD pada tangki

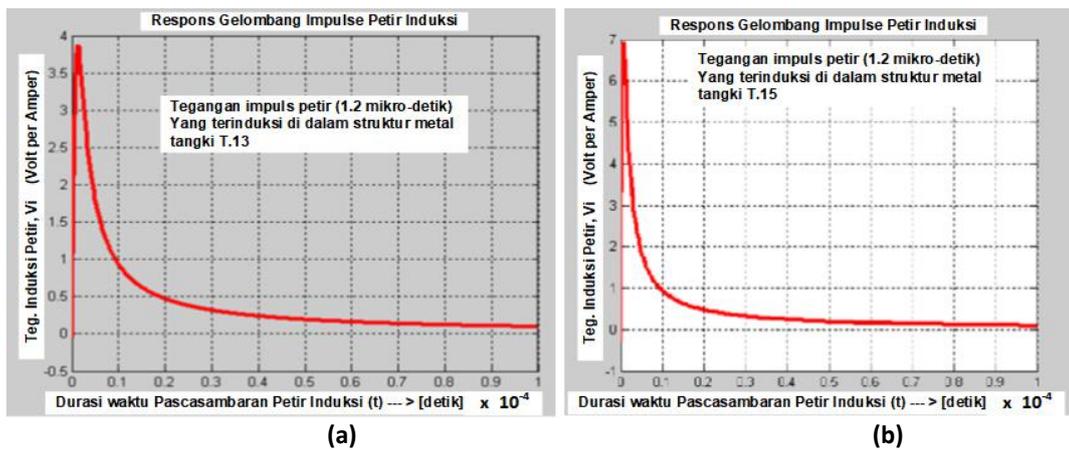
3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Tegangan Induksi Petir

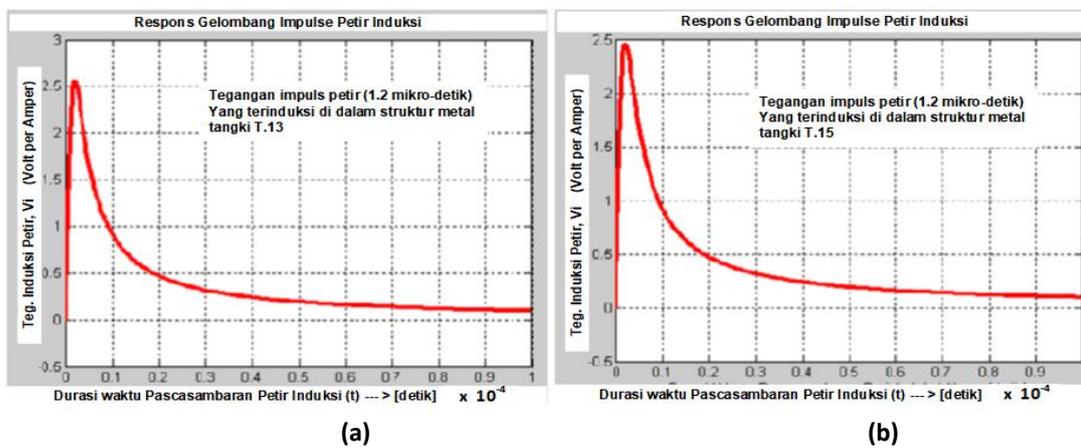
Berikut berturut turut tabel : 1 dan tabel : 2 yang disertai dengan besaran tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki T.13 dan T.15 dengan spesifikasi *impulse* waktu-muka 1.2 mikro-detik.

Tabel : 1
Nilai Tegangan Induksi ketika terjadi sambaran petir 10 kA.

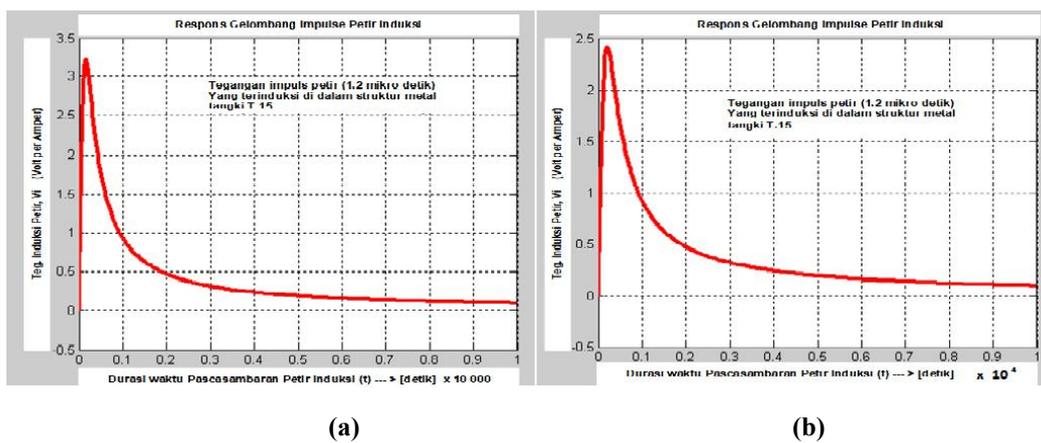
		Tangki	Jarak : x (m)	Jarak : y (m)	Teg. Induksi pd. tangki (Volt per Amper)	Pascasambaran petir saat detik ke ---
SAMBARAN PETIR KE MENARA	I	T.13	18	103.85	3.865 675 64	0.0000012 (12×10^{-6})
		T.15	18	57.31	6.927 834 62	0.00000008 (0.8×10^{-6})
	II	T.13	18	157.51	2. 551 521 99	0.000002 (2×10^{-6})
		T.15	18	163.81	2. 456 541 41	0.000002 (2×10^{-6})
	III	T.13	18	124.20	3. 231 852 76	0.0000016 (16×10^{-6})
		T.15	18	167.36	2.404 477 19	0.000002 (2×10^{-6})



Gambar 6. Gelombang *Impulse* saat Menara I tersambar petir



Gambar 7. Gelombang *Impulse* saat Menara II tersambar Petir



Gambar 8. Gelombang *Impulse* saat Menara III tersambar petir

Tegangan penyalan masing masing tangki (tangki 13 dan 15) adalah sebesar 3281.801 Volt. Tegangan ini tidak boleh dilampaui oleh tegangan impuls petir yang terinduksi dan terakumulasi di dalam metal tangki bahan bakar. Jika nilai tegangan penyalan ini dilampaui oleh tegangan impuls petir maka tegangan impuls petir yang terinduksi ini dapat memi cu tegangan penyalan (3281.801) berubah menjadi percik kapasitif (*capasitive spark discharge*). Apabila bahan bakar di dalam tangki telah mengalami campuran yang tepat antara uap bahan bakar dan udara maka bahan bakar telah berstatus *stoichiometric-mixture* dan selanjutnya menjadi berstatus *flammable*. Ketika besar tegangan induksi petir sudah melebihi angka tegangan penyalan

(3281.801 Volt) dan bertemu secara bersamaan dengan bahan bakar yang sudah berstatus *stoichiometric* maka akan terjadi penyalan bahan bakar dan berpotensi untuk meledak (*incendive spark*). Cairan *combustible* adalah cairan yang dapat dinyalakan pada temperature titik nyala $\geq 100^0 \text{ F} = (5/9 \times (100 - 32)) = 37.8^0 \text{ C.}$, sedangkan cairan *flammable* adalah cairan yang dapat dinyalakan pada temperature titik nyala $\leq 100^0 \text{ F} (37.8^0)$. Ini berarti besaran temperature dapat mempengaruhi terjadinya penyalan pada bahan bakar atau mempengaruhi bahan bakar menuju status *flammable*.

3.2 Tegangan Induksi Petir yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki

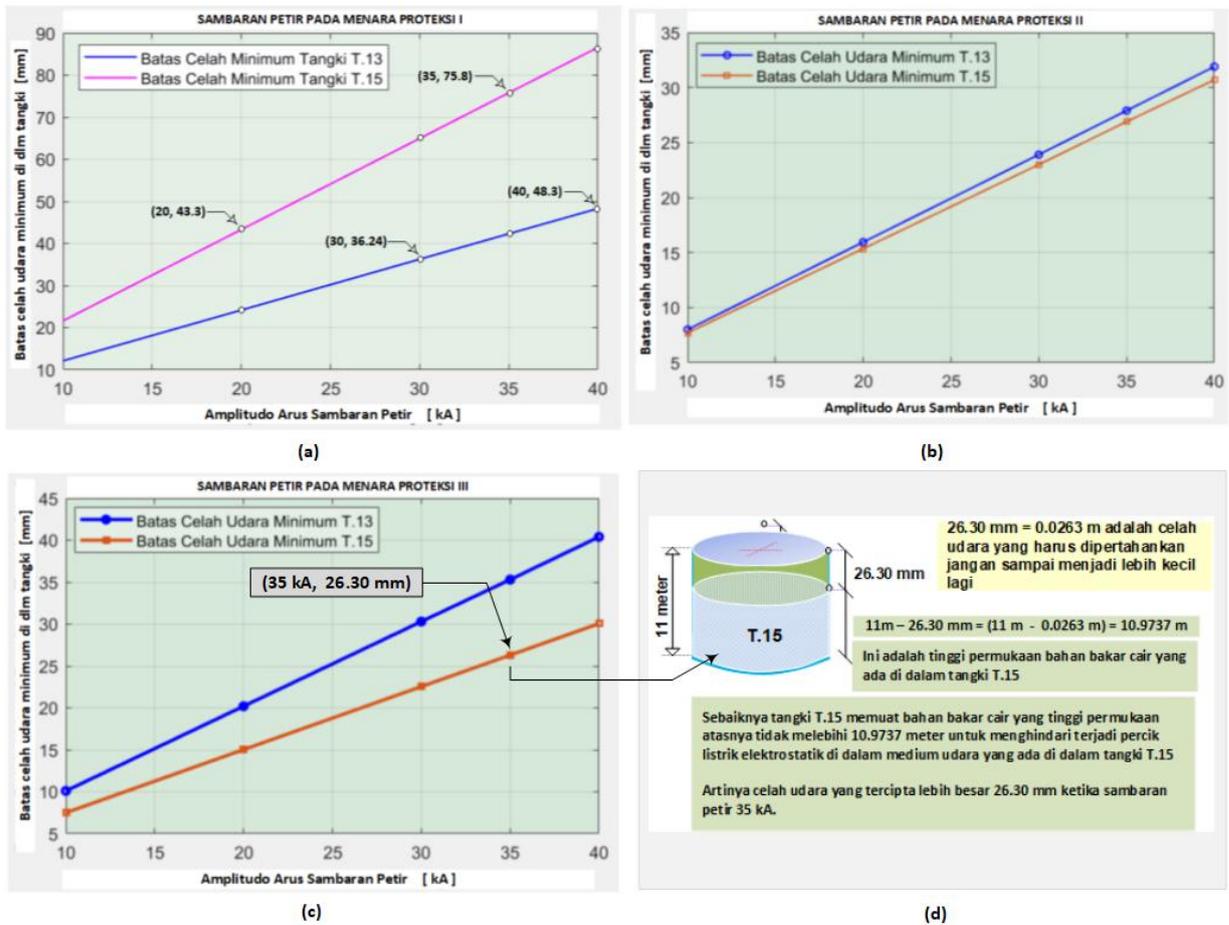
Dalam simulasi ini amplitudo petir yang digunakan adalah sebesar 10 kA = 10 000 Amper. Arus petir sebesar 10 000 Amper ini diinjeksikan ke puncak tiga menara pelindung dimana puncaknya dicantelkan jenis proteksi petir batang vertikal (*lightning rod*). Berikut tabel : 2 mengilustrasikan besar tegangan yang terinduksi di dalam tangki bahan bakar.

Tabel 2 Tegangan yang terinduksi di dalam Metal Tangki T.13 dan T.15

		Tangki	Jarak : x (m)	Jarak : y (m)	Teg. Induksi pd. tangki (Volt per Amper)	Besar Teg Induksi Petir un- tuk Amplitudo arus Petir 10 kA = 10000 Amper.
		1	2	3	4	5
SAMBARAN PETIR KE MENARA	I	T.13	18	103.85	3.865 675 64	$(10 \times 3.8656 = 38.66 \text{ kV})$
		T.15	18	57.31	6.927 834 62	$(10 \times 6.9278 = 69.28 \text{ kV})$
	II	T.13	18	157.51	2. 551 521 99	$(10 \times 2.5515 = 25.51 \text{ kV})$
		T.15	18	163.81	2. 456 541 41	$(10 \times 2.4565 = 24.56 \text{ kV})$
	III	T.13	18	124.20	3. 231 852 76	$(10 \times 3.2318 = 32.32 \text{ kV})$
		T.15	18	167.36	2.404 477 19	$(10 \times 2.4045 = 24.04 \text{ kV})$
		Kapasitans Tangki (C_T) = (3.0819×10^{-10}) Coulomb				Bandingkan : ↑
		Tegangan Penyalan Tangki (V_P) = $4.6 \times (C_T)^{-0.3} = 4.6 \times (3.0819 \times 10^{-10})^{-0.3} = 3281.801 \text{ Volt} = 3.2818 \text{ kV}$				

Tabel 2 menunjukkan sambaran petir yang disimulasikan secara berturut turut mengenai menara proteksi I, II dan menara proteksi III, selanjutnya akibat sambaran petir ini maka segera menimbulkan tegangan induksi (kolom 5, pada tabel 2) yang semua nilainya di atas angka tegangan penyalan minimum 3281.801 Volt. Ini menunjukkan bahwa tangki T.13 dan T.15 akan mengalami kondisi elektrostatik yang sewaktu waktu dapat menimbulkan percik api jika kondisi ini secara bersamaan bertemu dengan kondisi *stoichiometric* uap bahan bakarnya. Kondisi ini dapat di atasi dengan bantuan sistem *grounding* dengan nilai resistans *grounding* dibuat sedemikian kecil sekali. Tabel 4 menunjukkan gambaran sistem *grounding* yang dipasangkan (oleh konsultan pihak Pertamina) di tangki T.13 dan T.15.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sambaran petir sebesar 10 kA pada menara I dan II akan menimbulkan tegangan induksi pada tangki T.13 sebesar 38.66 kV, dan pada tangki T.15 sebesar 69.28 kV (kolom 5, tabel 2). Sementara itu, sambaran petir pada menara III akan menimbulkan tegangan induksi di tangki T.13 sebesar : 32.32 kV. Disisi lain medium udara memiliki kekuatan dielektrik sebesar $3.2 \text{ kV/mm} = (3.2 \times 10^3) \text{ kV/m}$ atau $3\ 200 \text{ kV/m}$. Celah udara minimum pada tabel 3, kolom 5 mengindikasikan bahwa tinggi permukaan bahan bakar cair jangan sampai melampaui celah minimum ini, karena kalau ini dilampaui maka celah udara akan semakin mengecil dan ini akan menimbulkan terjadi tembus listrik (*breakdown*) yang disertai percik api listrik. Jika terjadi sambaran petir, dgn amplitudo 35 kA, di puncak menara III, maka ini akan menimbulkan tegangan induksi di tangki T.13 dan tangki T.15 masing masing sebesar 113.11 kV dan 84.157 kV (lihat tabel 3 utk arus petir 35 kA pada sambaran ke menara proteksi III). Karena kekuatan dielektrik medium udara sebesar $3\ 200 \text{ kV/m}$ maka konsekwensinya di tangki T.13 dan tangki T.15 harus menyisakan celah udara sekurang kurangnya 35.3 mm untuk tangki T.13, dan 26.3 mm untuk tangki T.15. Kalau celah udara ini lebih kecil dari 35.3 mm (untuk tangki T.13) dan lebih kecil 26.3 mm (untuk tangki T15) maka kedua tangki ini akan mengalami penyalan bahan bakar di dalamnya dan berpotensi meledak (*incendive spark*). Untuk menjaga kondisi yang aman, celah udara yang tersisa tadi harus lebih besar dari pada celah udara minimum sebagaimana dicantumkan pada tabel 3 kolom 5. Semakin besar celah udara ini maka akan semakin terhindar dari bahaya penyalan bahan bakar cair di dalam tangkinya dan juga terhindar dari potensi peledakan bahan bakar cair *flammable* ketika terjadi sambaran petir ke menara proteksi III.



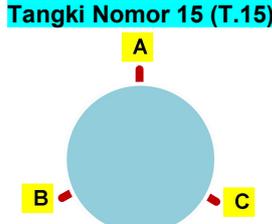
Gambar 9. Arus Sambaran Petir dengan batas Celah Udara Minimum di dalam Tangki

Tabel 3 Amplitudo sambaran Petir, Teg. Induksi petir dan Celah Udara di dalam Tangki

Amplitudo Arus Petir [kA]	Menara Proteksi	Tangki	Teg. Induksi Petir [kV]	Celah udara [mm]	Amplitudo Arus Petir [kA]	Menara Proteksi	Tangki	Teg. Induksi Petir [kV]	Celah udara [mm]
10	I	T.13	38.66	12.1	30	I	T.13	115.97	36.2407
		T.15	69.28	21.6			T.15	207.84	64.9484
	II	T.13	25.51	8.00		II	T.13	76.546	23.90
		T.15	24.56	7.70			T.15	73.654	23.00
	III	T.13	32.32	10.10		III	T.13	96.956	30.30
		T.15	24.04	7.50			T.15	72.134	22.642
20	I	T.13	77.314	24.1606	35	I	T.13	135.3	42.30
		T.15	138.56	43.3			T.15	242.47	75.80
	II	T.13	51.03	15.9469		II	T.13	89.30	27.90
		T.15	49.131	15.3534			T.15	85.979	26.90
	III	T.13	64.637	20.1991		III	T.13	113.11	35.30
		T.15	48.0895	15.0280			T.15	84.157	26.30
40	I	T.13	154.63	48.30	40	I	T.13	154.63	48.30
		T.15	277.11	86.60			T.15	277.11	86.60
	II	T.13	102.06	31.90		II	T.13	102.06	31.90
		T.15	98.262	30.7			T.15	98.262	30.7
	III	T.13	129.27	40.40		III	T.13	129.27	40.40
		T.15	96.1791	30.056			T.15	96.1791	30.056

Celah Udara Terisi dgn Uap bahan bakar & udara (mm)
Ruang terisi dengan bahan bakar cair flammable

Tabel : 4 *Check List* Pengukuran tahanan *grounding*

No	Lokasi	Hasil Pengukuran resistan <i>Grounding</i> per Bulan				Keterangan
		M A R E T		SEPTEMBER		
		Dilepas	Disambung	Dilepas	Disambung	
I	A	0.10	0.01	0.01	0.01	Ternyata R terkecil = 0.01 Ω dan nilai R tertinggi = 1.08 Ω
II	B	1.08	0.09	0.01	0.01	
III	C	0.08	0.04	0.01	0.01	
<i>Layout</i>						

Sistem *grounding* untuk tangki diharapkan dapat bekerja baik dan sempurna ketika terjadi sambaran petir ke menara perlindungan. Hal ini dilakukan mengingat bahwa ketika terjadi sambaran petir, surja tegangan induksi petir yang terakumulasi di dalam struktur metal tangki pascasambaran petir di puncak menara proteksi mempunyai potensi untuk terjadi percik api disetiap celah udara.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis pada pemunculan tegangan induksi petir yang terkait juga dengan penyalan percik api di dalam tangki penyimpanan bahan bakar cair maka dapat disimpulkan beberapa *point* :

1. Celah udara minimum yang tercipta untuk setiap tegangan induksi petir pada saat terjadi sambaran petir tidak boleh dilampaui guna menghindari tembus udara / *breakdown*.
2. Ketika terjadi pelampauan batas minimum celah udara tangki bahan bakar berpotensi meledak (mengalami *incendive spark*).
3. Nilai resistans pentanahan (*grounding system*) harus di monitor secara ketat dan mempunyai nilai resistans yang sangat rendah (0.01 Ohm) karena akan membantu proses penyaluran muatan listrik yang terakumulasi di struktur metal tangki.
4. Variabel yang menimbulkan percik api listrik elektrostatik adalah variabel tegangan induksi dari petir
5. Variabel celah udara juga termasuk variabel yang berkontribusi terjadinya percik elektrostatik.
6. Tegangan penyalan tangki T.13 dan tangki T.15 adalah sebesar 3281.801 Volt atau 3.282 kV.
7. Semua tegangan induksi petir di atas tegangan penyalan sehingga kondisi *stoichiometric* harus selalu dimonitor melalui instrument proteksi tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sorwar, MG., Gosling, IG., *Lightning Radiated Electric Field and Their Contribution to Induced Voltages*, IEEE 1999, Vol. -- ?, (--- ?), 635 – 639.
- [2]. Iskanto, E., *Pengaman pada Bahan Bakar terhadap Bahaya Kebakaran karena Api Listrik Statis*, Energi dan Listrik, 2000 ; Vol. 10, (1) : 109 – 118.
- [3]. Eprri (Electric Power Research Institute), *Transmission Line reference Book 345 kV and Above*, Palo, Alto, California., Electric Power Research Institute, 1975 : 264 – 267.
- [4]. Erikson, AJ., Stringfellow, MF., Meal, DV., *Lightning Induced Overvoltages on Overhead Distribution Lines*, IEEE Trans. on PAS. 1982, Vol. PAS-101, (04) : 960 – 967.
- [5]. Maruvada, PS., Cavallius, NH., *Capacitance Calculation for some Basic High Voltage Electrode Configuration.*, IEEE Trans. PAS. 1975, Vol. PAS-94 (05) : 1708 – 1713.