

# DAMPAK SALURAN TRANSMISI TEGANGAN EKSTRA TINGGI 500 kV PADA KENDARAAN TANGKI PEMBAWA BAHAN BAKAR *FLAMMABLE*

Budi Utama

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta  
budiutamaduautama@ymail.com

## **Abstrak**

Telah dikerjakan suatu simulasi komputer melalui program Matlab dalam penentuan tegangan penyalaan (*Ignition Voltage*) utk kendaraan tangki pembawa bahan bakar cair (*Premium dan Liquefied Petroleum Gas, LPG*). Juga telah dihitung nilai tegangan terbuka yang ditimbulkan oleh intensitas medan listrik, serta membandingkan tegangan penyalaan yang dimiliki oleh tangki dengan tegangan terbuka yang muncul ketika kendaraan tangki melewati kawasan bermedan listrik. Objek penelitian terdiri dari 3 unit kendaraan tangki pembawa bahan bakar masing masing dengan kapasitas volume 5 000 liter dan 16 000 liter isi bahan bakar jenis premium dan 9 500 kg isi bahan bakar jenis LPG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan penyalaan yang dimiliki oleh masing masing tangki adalah: 3014.15 Volt utk tangki 5 000 liter isi premium, 2 773 Volt utk tangki 9 500 kg isi LPG dan 2 818.66 Volt utk tangki 16 000 liter isi premium. Terungkap dalam penelitian bahwa kendaraan tangki gas LPG kapasitas volume 9 500 kg mempunyai batasan tegangan penyalaan paling rendah, yaitu sebesar 2 773.93 Volt dgn medan listriknya 2 042.66 V/m.

**Kata Kunci:** Medan listrik, Kendaraan Tangki, Bahan Bakar, SUTET

## **Abstract**

Vehicles of tank liquided fuel (*Premium and Liquefied Petroleum Gas, LPG*). The open circuit voltage of them that caused by the intensity of the electric field was calculated, and comparing the ignition voltage to the open circuit voltage that appears when they ware passeded through the zones of electric field. Totally, the 3-unit of the vehicles of liquided fuel were analyzed : one unit of that Liquefied Petroleum Gas (LPG) 9500 kg in capacity and two units of that Premium 5000 liters and 16000 litre respectively. The result of research showed that ignition voltage on the vehicles of tank carrying liquided fuel premium and LPG for 5000 and 16 000 litre and 9500 kg were 3014.15 Volt, 2 818.66 Volt and 2 772 Volt. Evidently, from the result of this simulation research revealed that the vehicles of tank carrying liquided fuel LPG 9500 kg in capacity have ignition voltage lowest, that was 2772 Volt that was caused by the electric field was 2042.66 Volt per meter in magnitude.

**Keywords:** Electric Field, Vehicle liquid fuel, EHV-Transmission Lines

## **1. Pendahuluan**

Fenomena listrik secara peluahan elektrostatis atau yang disebut sebagai *electrostatic-discharge* (ESD) tetap menjadi sumber penyalaan ketika cairan (bahan bakar) yang mudah terbakar (*flammable*) yang dalam kondisi *stoichiometric* bersentuhan dengan jentik percikan (*spark*) titik api yang muncul [1]. *Stoichio metric* adalah suatu kondisi campuran yang tepat dimana campuran antara uap bahan bakar dan udara yang ada disekitar bahan bakar cair tersebut telah berada pada level titik nyala (*flammable*). Daerah *flammable* ini dibatasi oleh batas bawah (campuran kurus) dan batas atas (campuran gemuk). Pada piranti elektronika, fenomena *electrostatic discharge* (ESD) dapat mengakibatkan suatu kerusakan yang serius melalui tahanan lebih listrik (*electrical overstress*, EOS). Tekanan lebih listrik ini merupakan mekanisme kegagalan dimana piranti (*device*) elektronika dikenai tegangan, arus, atau daya yang ‘berlebihan’ dari nilai yang sudah ditentukan oleh manufakturnya. Kerusakan piranti elektronika ini yang kena gejala EOS atau ESD adalah pada lapisan dielektriknya. Fenomena ini banyak terjadi pada kaki kaki piranti IC (*integrated circuit*). Pada beberapa kawasan atau zona bermedan listrik dapat diidentifikasi sebagai kawasan yang perlu mendapat perhatian secara bersungguh sungguh. Kawasan medan listrik ini terisi dengan angkag radian tegangan yang mempunyai satuan kilo-volt per meter (kV/m). Pada aspek per kembangan dan pertumbuhan pemakaian tenaga listrik selalu diikuti dengan penambahan pasokan atau pembangunan pusat pembangkit listrik yang baru guna memenuhi kebutuhan / keperluan energi secara nasional. Konsekwensinya adalah akan memerlukan saluran tegangan ekstra tinggi (TET) atau tegangan ultra tinggi (TUT).

Di Indonesia keperluan ini dicerminkan dengan pembangunan saluran transmisi yang bertegangan ekstra tinggi. Level tegangan transmisi energi listrik ini akan dinaikan untuk pertimbangan ke efektifitas dan keeffisienan yang tinggi dimana rugi rugi jatuh tegangan pada saluran dapat dikurangi dengan cara menaikkan level tegangan transmisi energinya ke level tegangan yang lebih (sangat tinggi; misal 1050 kV). Dengan menaikkan tegangan transmisi ke level yang ekstra tinggi akan membawa konsekuensi pada masalah teknologi *insulation* dan induksi medan elektromagnetik. Medan magnet ditimbulkan karena kehadiran 'arus' listrik, sedangkan medan listrik ditimbulkan karena kehadiran 'tegangan' listrik. Medan listrik di atas level yang diizinkan akan membawa resiko yang membahayakan baik pada lingkungan maupun pada makhluk hidup lainnya. Badan organisasi dunia *World Health Organization* (WHO) membatasi level medan listrik ini sebesar 10 kV/m. Disamping itu medan listrik juga dapat memicu penyalaan bahan bakar cair dalam suatu tangki penyimpanan bahan bakar cair [1].

Muatan elektrostatik terbangkit bila zat cair bergerak bersinggungan dengan material lain. Muatan ini biasanya terjadi ketika mengalir melalui pipa pipa atau selama proses pencampuran (*fixing*), penuangan (*pouring*), pemompaan bahan bakar cair (*pumping*), penyaringan (*filtering*) atau pengadukan (*agitating*). Pada kondisi tertentu, khususnya di dalam *hydrocarbon*, muatan listrik statis ini dapat terakumulasi di dalam zat cair. Bila akumulasi muatan ini sudah terpenuhi kecukupannya maka suatu percikan listrik statis (*static spark*) dapat segera terjadi dan bila ini terjadi mendekati suatu sifat yang dapat terbakar dari suatu campuran uap udara (*vapor air*) maka akan timbul suatu penyalaan awal (*start ignition*) [2].

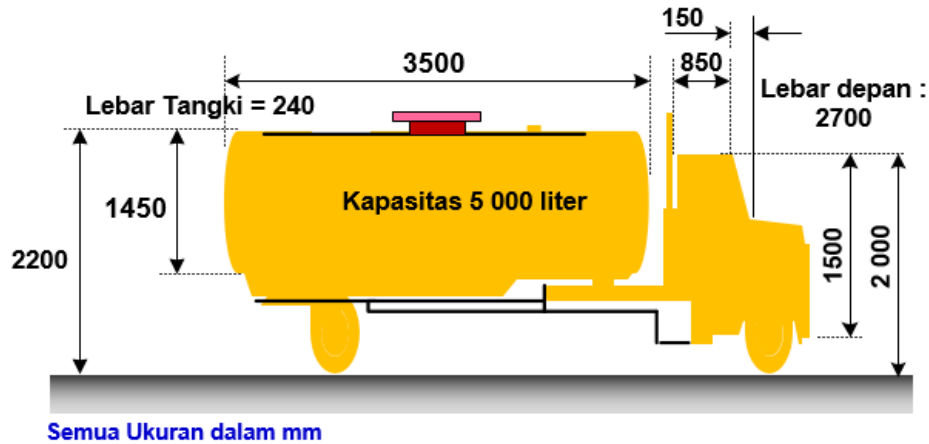
Insiden yang pernah terjadi di bulan Oktober 1995 di kilang minyak pertamina yang berlokasi di Cilacap terbakar yang disebabkan oleh sambaran petir. Sambaran petir ini cukup membuat tangki penyimpanan bahan bakar ini menjadi bermuatan listrik yang besar pada struktur metalnya. Beberapa saat pasca sambaran petir tersebut muatan muatan listrik itu terakumulasi pada bagian bagian komponen metal tangki, dan dengan segera muatan ini akan terluahkan (*discharge*) pada struktur metal yang mempunyai celah kapasitip dan menjelma menjadi fenomena 'peluahan elektrostatik' (*electrostatic discharge*, ESD) pada skala yang besar. Percikan jentik api busur listrik yang terjadi bersamaan dengan terjadinya kondisi *stoichiometric* bahan bakar cair (bersifat *flammable*) yang ada di dalam kilang tangki sehingga terjadi ledakan yang membakar semua bahan bakar cair di dalam tangki. Dari insiden ini dapat diketahui bahwa di dalam tangki telah terjadi ESD yang berbarengan dengan kondisi *stoichiometric* bahan bakar cairnya. Di dalam keterjadian peristiwa ESD ini di picu oleh besarnya medan listrik elektrostatik yang timbul di dalam tangki bahan bakar pascasambaran petir. Insiden ini menunjukkan pada kita bahwa unsur pemicunya adalah medan listrik yang muncul secara impulsif di dalam ruang tangki (kilang) bahan bakar tersebut setelah tersambar oleh petir. Kejadian di Cilacap ini adalah sambaran petir pada tangki penyimpanan bahan bakar nomor seri 32T102 milik pertamina Cilacap [3]. Kendaraan tangki pembawa bahan bakar cair yang bersifat gampang menyala/ terbakar (*flammable*) merupakan bagian lain dari fenomena ESD dan sangat rawan terhadap kebakaran. Sifat *flammable* ini berkaitan dengan tegangan penyalaan (*ignition voltage*). Di dalam tangki penyimpanan bahan bakar cair yang bersifat gampang menyala (*flammable*) sangat rentan terhadap besaran medan listrik yang terpapar (*exposure*). Kondisi ini akan terjadi bila kendaraan tangki melewati paparan medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV. Tingkatan yang dapat menimbulkan proses penyalaan ini dikenal dan diukur melalui tingkat batasan pada variabel tegangan, yaitu apa yang disebut angka 'tegangan penyalaan' (*Ignition Voltage*) [3]. Tegangan penyalaan (*ignition voltage*) merupakan angka tegangan dengan satuan Volt atau kilo-Volt yang mengindikasikan suatu kondisi yang sudah mampu menimbulkan 'luah percik listrik' (*sparkover discharge*) di dalam suatu ruang yang mengandung angka gradien tegangan (dengan satuan kV/m) sehingga ruang tersebut sudah menyerupai sifat sebuah kapasitor di mana ruang celahnya sudah terisi penuh dengan medan listrik yang mempunyai angka gradien tegangan tertentu disetiap titiknyanya.

Tulisan ini mencoba membuat hubungan antara tegangan penyalaan (*ignition voltage*) dan medan listrik yang memicu terjadinya percikan kapasitip di dalam suatu ruang (dalam tulisan ini adalah ruang di dalam tangki) dimana ruang tersebut dipenuhi oleh bahan bakar cair yang bersifat *flammable*. Variabel kapasitan tangki (C) dari dimensi tangki bahan bakar ketika terisi bahan bakar cair mempunyai pengaruh yang kuat terhadap angka penentuan tegangan penyalaan (*ignition voltage*). Sampel penelitian terdiri dari kendaraan tangki bahan bakar cair peremium dan gas elpiji. Dari Sampel ini akan ditentukan bentuk kurva hubungan antara medan listrik (E) dan besar tegangan penyalaan ( $V_p$ ) pada masing masing jenis kendaraan pembawa bahan bakar cair yang muncul ketika kendarannya itu melewati paparan medan listrik dari saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV.

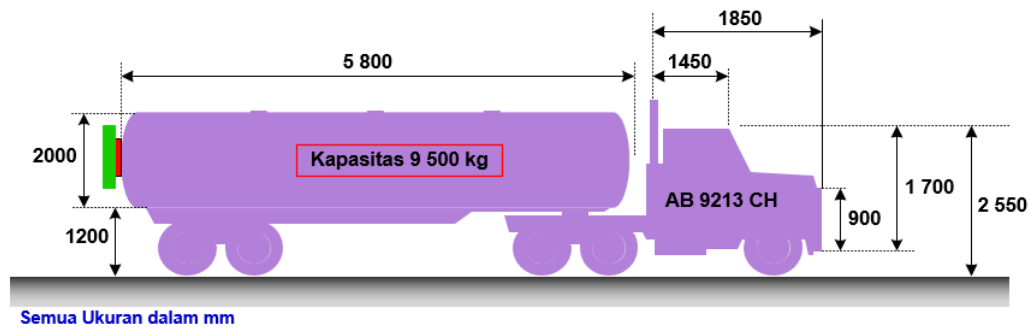
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Objek Penelitian

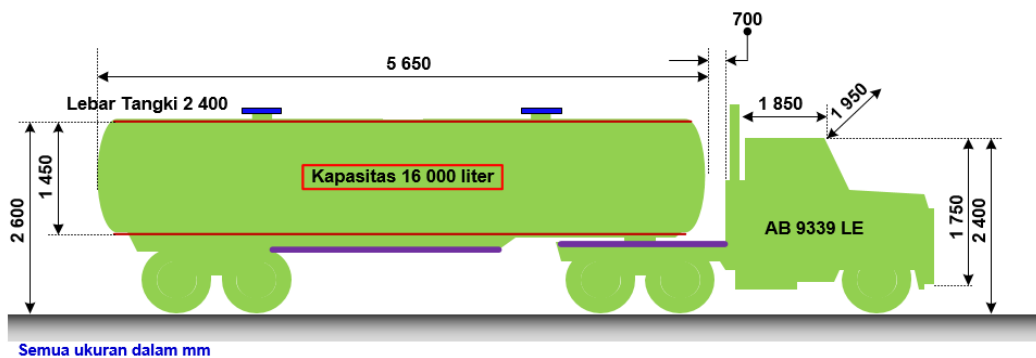
Objek penelitian terdiri dari: kendaraan tangki pembawa bahan bakar dengan kapasitas tangki 5 000 liter dengan jenis bahan bakar premium, kendaraan tangki pembawa bahan bakar gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*), kapasitas 9 500 kg, dan kendaraan tangki pembawa bahan bakar cair premium dengan kapasitas tangki 16 000 kg.



Gambar : 1  
Dimensi Kendaraan Tangki Premium 5 000 liter.



Gambar : 2  
Dimensi Kendaraan Tangki Gas LPG kapasitas tangki 9 500 kg



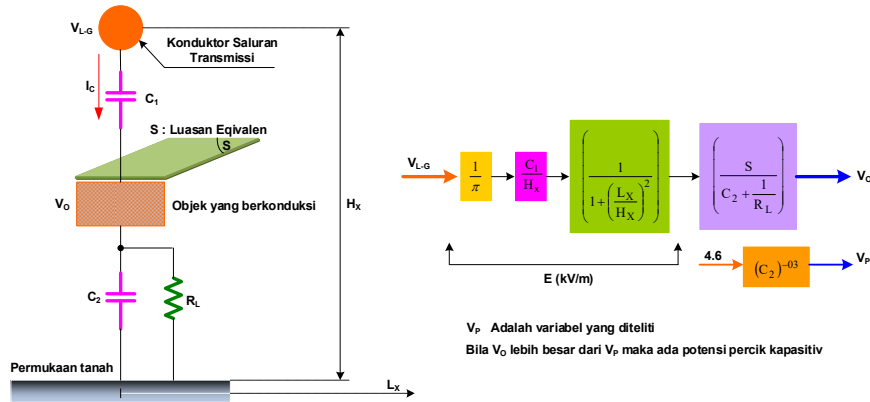
Gambar : 3  
Dimensi Kendaraan Tangki Premium Kapasitas Tangki 16 000 liter

Ketiga kendaraan tangki ini diukur setiap lekuk dimensinya guna mendapatkan permukaan yang paling mungkin terkena paparan medan listrik ketika lewat di bawah jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi. Berikut data dimensi yang harus disiapkan beserta gambaran profil ketiga jenis kendaraan tangki,

masing masing dengan kapasitas tangki: 5 000 liter (premium), 9 500 kg (LPG), dan 16 000 liter (premi um).

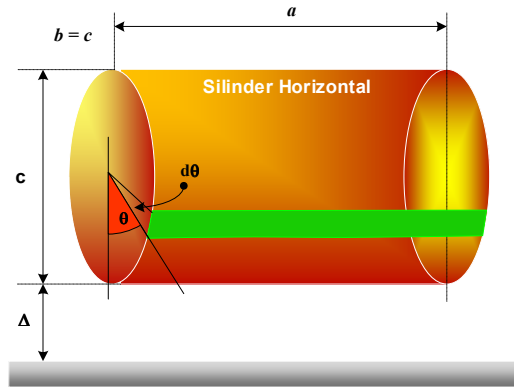
**2.2 Desain Modelling**

Pemodelan (*modelling*) disesuaikan dengan tangki kendaraan bahan bakar yang digunakan di lapangan sebagaimana ditunjukkan Gbr. 1, 2, dan Gbr. 3. Ruang (*space*) saluran udara tegangan ekstra tinggi terhadap permukaan tanah dimodelkan sebagai sebuah kapasitor ( $C_1$ ) dengan medium dielektriknya berupa udara. Sedangkan objek kendaraan tangkinya sebuah plat empat persegi panjang dengan mempunyai luas ekuivalen tertentu sebesar  $S$ . Celah udara antara kendaraan (objek penelitian) dan permukaan bumi dimodelkan sebagai kapasitor  $C_2$ . Kapasitor ini mewakili semua material kendaraan yang berpotensi untuk menyimpan muatan listrik saat melewati kawasan di bawah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Kapasitor  $C_2$  akan meluahkan (*discharge*) muatannya apabila gradien tegangan telah mencapai nilai tembus listriknya (*breakdown*). Kenaikan nilai gradien tegangan dipicu oleh medan listrik yang ditimbulkan oleh konduktor SUTET dengan tegangan sebesar  $V_{LG}$ . Tahanan  $R_L$  memodelkan kondisi material objek yang bersifat resistif termasuk kondisi ban kendaraan tangki bahan bakar.  $R_L$  dipertimbangkan sangat besar tak berhingga besarnya yang menunjukkan kondisi fisik dari ban (karet) ketika ke ring (tidak basah).  $H_x$  adalah posisi ketinggian konduktor dari permukaan tanah.



Gambar : 4 Model satu garis saluran transmisi yang di bawahnya terdapat objek konduksi dan block diagram hubungan antar variabel

Untuk *modelling* kendaraan tangki bahan bakarnya digunakan model berikut [4],



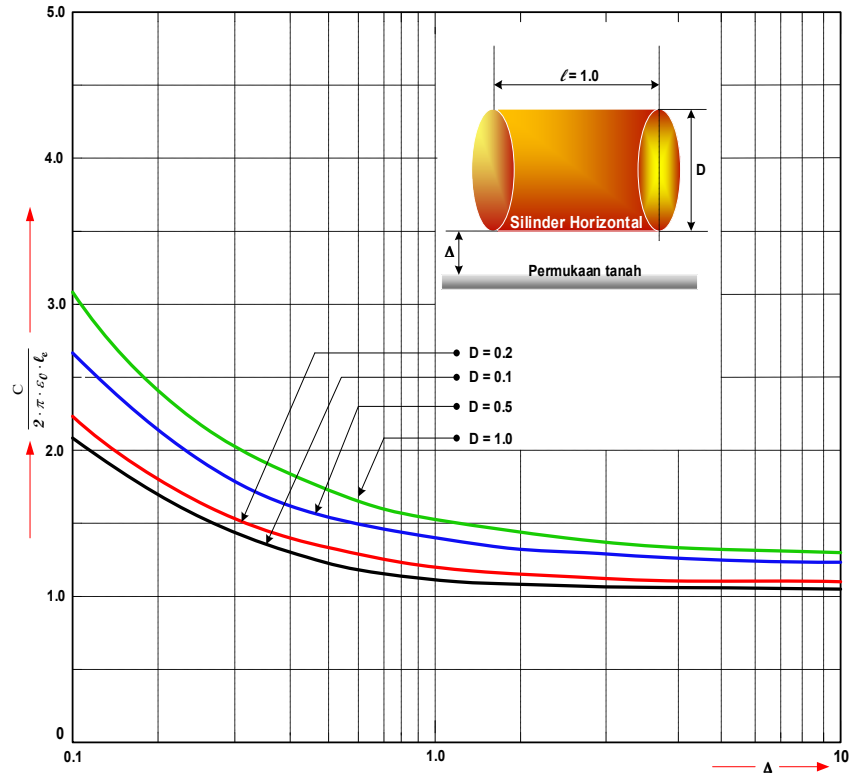
Gambar : 5 Perhitungan Nilai Cp untuk permukaan silinder horizontal [4]

$$C_p = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\left(\frac{\epsilon}{2}\right) \cdot a \cdot d\theta}{\Delta + \left(\frac{\epsilon}{2}\right) \cdot (1 - \cos \theta)} \tag{1}$$

Penurunan langkah selanjutnya dari persamaan (1) diperoleh [4],

$$C_p = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot a \cdot \left( \frac{\pi - \arccos\left(\frac{1}{1+a}\right)}{\sqrt{\left(1 + \frac{2 \cdot \Delta^2}{C}\right)^2 - 1}} \right) \tag{1a}$$

Semua variabel pada persamaan (1a) bersesuaian dengan Gbr.5) Atau cara lain untuk mendapatkan Cp yaitu melalui pendekatan grafik Gbr. 6[4],



Gambar : 6  
Kapasitans Silinder Horizontal / tangki bahan bakar

**2.3 Modelling Persamaan**

Untuk menentukan tegangan penyalan dapat diperoleh dari grafik hubungan antara tegangan terbuka pada objek dan nilai kapasitans objek terhadap tanah. Nilai tegangan ini adalah nilai tegangan minimum untuk terjadi ‘penyalan peluahan percik’ (*spark discharge ignition*) pada bahan bakar cair yang ada di dalam tangki [1]. Hubungan ini dapat ditulis dalam persamaan,

$$V_p = 4,6 (C)^{-0,3} \tag{1}$$

$$C = C_{og} = \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln \frac{2 \cdot h}{r}} \right) \tag{1a}$$

C = C<sub>og</sub> adalah nilai kapasitans objek terhadap tanah dalam satuan Farad. Nilai V<sub>p</sub> ini kemudian diban dingkan dengan nilai V<sub>OC</sub>, dimana V<sub>OC</sub> adalah tegangan hubungan terbuka minimum untuk terjadi penyalan peluahan percik. Ketika kendaraan tangki lewat di bawah jaringan SUTET maka diperoleh arus yang terakumulasi di dalam kendaraan tersebut, arus ini dalam studi dampak elektrostatis disebut arus hubung singkat ketanah (I<sub>sc</sub>) [5],

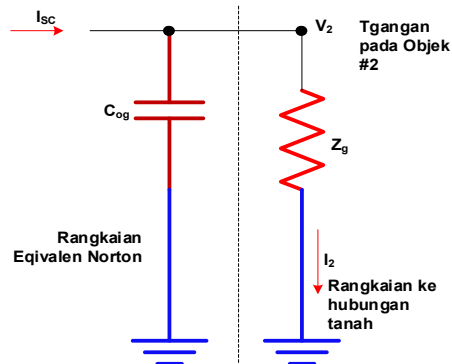
$$I_{sc} = j \omega \cdot \epsilon \cdot |E| \cdot S \tag{2}$$

Menentukan tegangan terbuka yang terakumulasi di dalam struktur *body* kendaraan tangki bahan bakar [6],

ketika berada di bawah SUTET.

$$V_2 = (I_{sc}) \cdot \left( \frac{1}{j \omega \cdot C_{og} + \frac{1}{R_{gg}}} \right) \quad (3)$$

Persamaan (3) ini bersesuaian dengan rangkaian ekuivalen Norton, model yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan terbuka pada objek yang melewati paparan medan listrik yang ditimbulkan oleh SUTET. Rangkaianannya adalah pada gambar 7 [6],



Gambar : 7  
Rangkaian Ekuivalen Norton [6]

Persamaan (3) ini untuk objek kendaraan dimana lapisan karet dari ban kendaraan bekerja sebagai isolasi sempurna yang diindikasikan  $Z_{og} = R_{og} = \infty$  (tak berhingga besarnya) sehingga persamaan (3) menjadi,

$$V_{OC} = \frac{\epsilon \cdot E \cdot S}{C_{og}} \quad (4)$$

atau

$$V_2 = V_{OC} = K \cdot E \quad (5)$$

Dengan,

$$K = \frac{\epsilon \cdot S}{C_{og}} \quad (6)$$

dan dengan nilai,

$$S = \left( \frac{h \cdot C_{og}}{\epsilon} \right) \quad (6a)$$

$S$  = luasan ekuivalen dari objek yg. sama dengan  $\left[ (h) \cdot (C_{og}) / \epsilon \right]$ ;  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  dgn  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  (F/m)  $C_{og}$  = Nilai kapasitans objek terhadap tanah ketika objek memasuki kawasan yang bermedan listrik, dan  $E$  adalah nilai medan listrik sebelum objek masuk ke kawasan yang terpapar medan listriknya. Medan listrik ini ditentukan melalui [1].

$$E = G_x = \frac{(q_{real} + q_{imajiner})}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon} \left( \frac{2 \cdot H}{H^2 + L^2} \right) \quad (7)$$

$q_{real}$  dan  $q_{imajiner}$  berbentuk bilangan kompleks dengan  $Q$  besaran magnitudnya yang dicari lewat persamaan elektrostatik dalam bentuk persamaan simultans yang jumlah persamaannya bergantung dengan jumlah konduktor dan kawat tanah udara pada SUTET-nya. Persamaan elektrostatik untuk 3 phasa yang disertai dengan kawat tanah udaranya

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

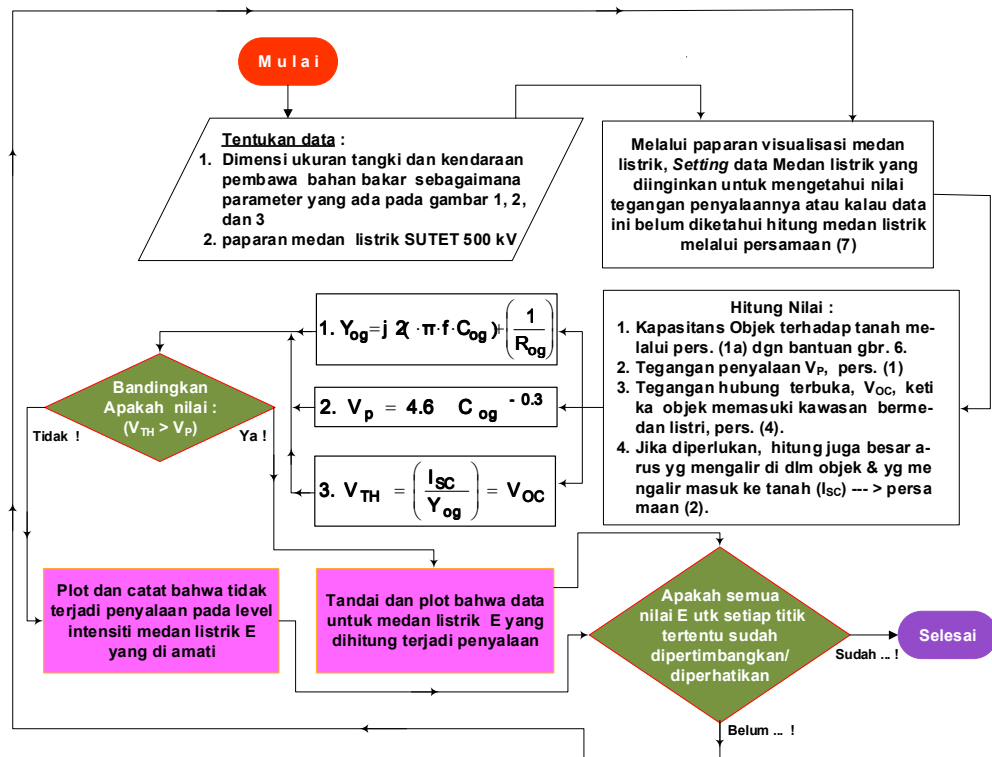
$V_1$  adalah nilai tegangan *line-to-neutral* sistem SUTET,  $Q$  adalah muatan yang ada di dalam konduktor fasa dan matrik  $[P]$  adalah koefisien potensial *maxwell*.  $Q_1$ ,  $Q_2$ , dan  $Q_3$  dicari dengan cara menarik invers persamaan (8). Setelah  $Q$  diperoleh baru dimasukkan ke persamaan (7) dimana,

$$Q = (q_{real} \pm q_{imaginer}) \tag{9}$$

Variabel  $H$  dan  $L$  pada persamaan (7) masing masing menunjukkan ketinggian konduktor fasa dari permukaan tanah dan jarak bentang samping (*lateral distance*) dimana titik medan listrik yang akan ditentukan besarnya. Persamaan (7) mempunyai satuan yang biasa digunakan adalah (kV per meter).

**2.4 Diagram alir (flow-chart) keseluruhan penelitian**

Rancangan penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir (*flow-chart*). Penelitian merupakan penelitian simulasi dengan menggunakan media program Matlab dan dengan bantuan *modelling* persamaan yang paling mendekati dengan kondisi yang disesuaikan pada kondisi aslinya.



Gambar : 8  
Diagram alir Penelitian

**3. Hasil dan Analisis**

**3.1 Kapasitans Kendaraan Tangki**

Nilai kapasitans kendaraan tangki bahan bakar terhadap tanah dihitung dgn pendekatan Gbr. 6. Sedangkan besaran dimensi yang diperlukan untuk penentuan  $C_{og}$  menggunakan dimensi pada Gbr. 1, 2 dan Gbr. 3. Gbr. 1 dimodelkan sebagaimana Gbr. 5 demikian juga Gbr. 2 dan Gbr. 3. Hasilnya disusun seperti Tabel : 1. Kemudian tabel : 1 dinormalisasi dengan membagi semua dimensi dengan nilai dimensi 'a'. Untuk nilai panjang ekuivalen yang dinormalisasi adalah :

$$le = \left( \frac{a + b + c}{3} \right)$$

Kemudian dengan bantuan Gbr. 6 nilai ordinat  $(C/2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot le)$  ditentukan berdasarkan nilai  $\Delta$  yang telah diasumsikan / diketahui pada axis-nya. Besar nilai  $le$  adalah  $\left( \frac{a+b+c}{3} \right)$  Untuk mobil pengangkut

bahan bakar digunakan nilai  $\Delta = 0.76$ . Pada grafik ini nilai  $\Delta$  bergerak pada axis dari 0.1 sampai dengan 10. Sedangkan nilai  $(C/2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot le)$  bergerak pada ordinat 0 sampai dengan 5.0, dan kurva D bernilai 0.1, 0.2, 0.5, dan sampai dengan nilai  $D = 1.0$ .

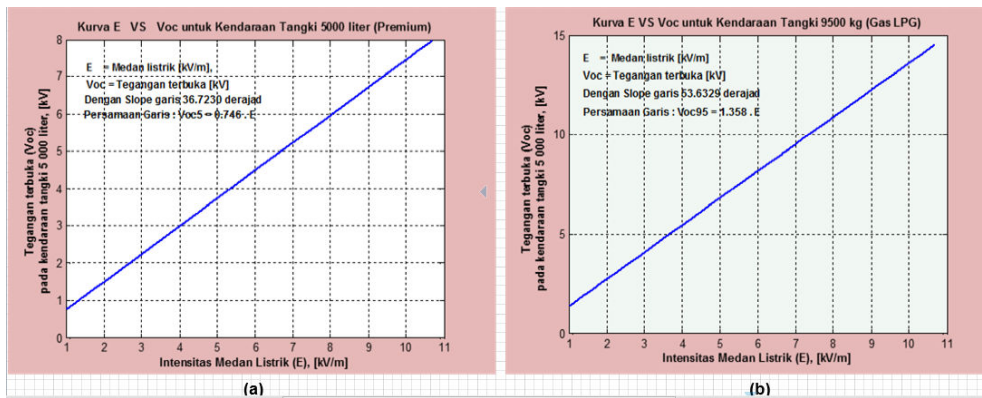
Tabel. 1 Nilai Kapasitans Objek terhadap tanah ( $C_{og}$ )

Jenis Kend. Pembawa Bahan Bakar	Dimensi segmen objek ( m )					Ukuran setelah dinormalisasi (tampa satuan) dibagi dengan nilai 'a'				
	a	b	c	D	a'	b'	c'	D'	$\Delta'$	
	$\Delta$									
Premium 5 000 ltr	4.50	2.55	2.55	2.09	0.76	1.00	0.57	0.57	0.46	0.169
Gas LPG 9 500 kg	7.65	2.00	2.00	3.00	0.76	1.00	0.26	0.26	0.39	0.099
Premium 16 000 ltr	8.20	1.70	1.70	2.52	0.76	1.00	0.21	0.21	0.31	0.093
	Nilai $le = (a + b + c)/3$				$(C_{og} / 2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot le)$	Nilai $C_{og}$ (farad)				
Premium 5 000 ltr	3.200				2.300	$(409.24 \times 10^{-12})$				
Gas LPG 9 500 kg	3.883				2.500	$(539.77 \times 10^{-12})$				
Premium 16 000 ltr	3.867				2.380	$(511.74 \times 10^{-12})$				

Secara keseluruhan akhirnya diperoleh nilai kapasitans kendaraan tangki bahan bakar jenis premium 5 000 liter, untuk gas dengan kapasitans tangki 9 500 kg, dan kapasitans tangki bahan bakar dengan kapasitans 16 000 liter jenis premium (Tabel: 1, pojok kiri bawah).

**3.2 Hubungan Tegangan Terbuka dengan Medan Listrik**

Hasil perhitungan tegangan rangkaian terbuka untuk ketiga jenis kendaraan tangki ketika masuk di kawasan yang bermedan listrik di bawah SUTET disajikan di dalam Gambar. 9, 10, 11, dan Gbr. 12.



Gambar 9 Hubungan antara Tegangan terbuka, Voc, dan Medan Listrik E.

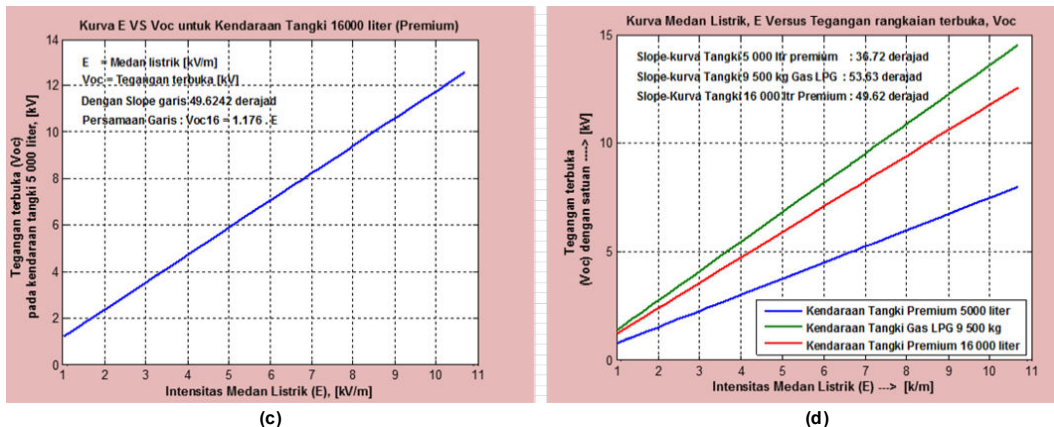
Pada Tabel :1 tercantum nilai kapasitans tangki terhadap tanah ( $C_{og}$ ), yaitu untuk: a. Kendaraan tangki dengan 5 000 liter premium; b. Kendaraan tangki dgn. 9 500 kg LPG, dan c. 16 000 liter untuk premium, maka **tegangan penyalan** ketiga kendaraan tangki pembawa bahan bakar adalah [1]:



Utk kapasitas 5 000 liter :  $V_{P5000} = 4.6 \times (C_{og5000})^{-0.3} = 4.6 \times (409.24 \times 10^{-12})^{-0.3} = 3\ 014.15\ V$   
 Utk kapasitas 9 500 kg :  $V_{P9500} = 4.6 \times (C_{og9500})^{-0.3} = 4.6 \times (539.77 \times 10^{-12})^{-0.3} = 2\ 773.93\ V$   
 Utk kapasitas 16 000 ltr.:  $V_{P16000} = 4.6 \times (C_{g16000})^{-0.3} = 4.6 \times (511.74 \times 10^{-12})^{-0.3} = 2\ 818.66\ V$

Jika ketiga kendaraan ini melewati kawasan di bawah SUTET dimana angka tegangan terbuka (Voc) yang terakumulasi di sosok metal-metal kendaraan tsb melebihi angka daripada angka tegangan penyalan an di atas, maka tangki bahan bakarnya mempunyai potensi terjadi percik kapasitif (*capacitive spark*).

Kurva (garis lurus) pada gambar 9a. mempunyai persamaan :  $V_{oc5} = 0.746 E$ , dengan kapasitas volume tangki sebesar 5 000 liter (isi bahan bakar cair : premium), mempunyai tegangan penyalan sebesar = 3014.15 Volt dan intensitas medan listrik yang bersesuaian dengan harga ini adalah =  $(3014.15/0.746) = 4\ 040.42\ V/m$ . Jadi dengan demikian medan listrik kritis yang dialami oleh tangki ini sebesar 4040.42 V/m dimana kalau nilai medan listrik ini melebihi angka 4040.12 V/m ( $E > 4040.12$ ) maka tangki ‘berpotensi’ untuk terjadi percik listrik atau percik kapasitiv. Percik kapasitiv (*capacitive spark*) merupakan fenomena peluahan elektrostatik (*electrostatic discharge, ESD*) yang dapat menimbulkan bahaya penyalan (*flammable*) pada bahan bakar cair (seperti premium) yang sudah mengalami kondisi level *stoichiometric*. Fenomenanya juga sama untuk Gbr. 10b dan Gbr. 10c. Sedangkan Gbr. 10d adalah perbandingan dari kurva tegangan terbuka untuk ke tiga kendaraan tangki tersebut. Kondisi yang serupa juga sama pada tangki 9 500 kg (LPG



Gambar 10  
 Hubungan antara Tegangan Terbuka, Voc dan Medan Listrik, E

### 3.2 Pengaruh Konstanta K

Konstanta ‘K’ (pada persamaan 5) mengandung besaran yang terkomposisi dalam persamaan  $[(\epsilon \times (S) / (Cog) ]$ , ini berarti nilai *permittivity* ( $\epsilon$ ) dari medium ruang di dalam tangki mempunyai pengaruh terhadap kontribusi nilai “K”. Kalau hasil perbandingan (*ratio*) antara nilai S dan nilai Cog ( $S/Cog$ ) sebuah kendaraan tangki lebih besar daripada harga semulanya maka ini diindikasikan mampu menaikkan nilai tegangan penyalan dari sebuah tangki bahan bakar, dengan kata lain tingkat terjadi percik listrik (*electrostatic discharge, ESD*) dapat dipertinggi dan akan menjadi lebih aman terhadap terjadi fenomena ESD. Merubah nilai S secara nyata adalah merubah bentuk bangun struktur fisik dari konstruksi tangki dan kendaraan. Namun demikian sesungguhnya perubahan nilai luasan ekuivalen tangki (S) dapat dimanfaatkan dalam pembuatan desain tangki dalam suatu manufaktur pembuatan tangki bahan bakar pada kendaraan pembawa bahan bakar cair yang bersifat gampang menyala (*flammable*).

Jadi dapat dikatakan juga bahwa semakin tinggi nilai konstanta “K” maka nilai sudut kemiringan kurva akan lebih membesar (posisi garis lurusnya lebih curam) dan kondisi seperti ini menandakan bahwa nilai tegangan penyalannya (dalam satuan Volt) akan lebih besar berarti tangki akan berada jauh lebih aman terhadap fenomena peluahan elektrostatik (*electrostatic discharge, ESD*).

Penggunaan bahan/material Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ) sebagai pelapis di dalam tangki sungguh sangat cocok karena bahan ini mempunyai tingkat *permittivity* relatif tinggi yaitu sebesar 8.8. Sifat Aluminium oksida adalah *insulator* (penghambat) panas dan listrik yang baik. Umumnya  $Al_2O_3$  terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut *corundum* atau *aluminium* oksida. Aluminium Oksida,  $Al_2O_3$  berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya

sangat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk Aluminium Oksida, yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam Aluminium dari Oksidasi lebih lanjut. Ketebalan lapisan ini dapat ditingkatkan melalui proses *anodisasi*. Konstanta dielektrik atau nilai permittivity  $Al_2O_3$  ini ( $\epsilon_r$ ) sebesar 8.8.

#### 4. Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari deskripsi pembahasan dari hasil penelitian ini,

1. Tegangan penyalan (*ignition voltage*) untuk kendaraan tangki dengan kapasitas 5000 liter (isi bahan bakar cair premium), 9500 kg (isi bahan bakar gas cair LPG), dan 16000 liter (isi bahan bakar cair premium) masing masing sebesar 3014.15 Volt, 2773.93 Volt, dan 2818.66 Volt.
2. Intensitas medan listrik kritis yang dapat menimbulkan nilai nilai tegangan penyalan di atas adalah:
  - a. untuk tegangan penyalan 3014.15 Volt sebesar 4040.42 (Volt/m)
  - b. untuk tegangan penyalan 2773.93 Volt sebesar 2042.66 (Volt/m)
  - c. untuk tegangan penyalan 2818.66 Volt sebesar 2396.82 (Volt/m)
3. Pada butir 1 ternyata terungkap bahwa tegangan penyalan yang terendah jatuh pada bahan bakar cair gas LPG sebesar 2773.93 Volt dengan intensitas medan listrik kritisnya sebesar 2042.66 (Volt /m) = 2.04 (kV/m).

#### 5. Saran

Untuk menaikan nilai tegangan penyalan (terutama tangki bahan bakar Gas cair LPG) dapat dilakukan dengan melapisi bagian dalam tangki yang terisi udara dengan bahan Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ), sehingga ruang atau celah yang terisi udara di dalam tangki dapat diperkecil dengan diisi bahan lapisan  $Al_2O_3$ , dan dengan memperbesar luasan bentuk dimensi tangki bahan bakar tersebut.

#### Daftar Pustaka

- [1] Deno. DW., Zaffanella. LE., “**Transmission Line Reference Book 345 kV and Above**”, Palo Alto, California, Electric Power Research Institute, 1975, p. 248 – 273.
- [2] Iskanto, E., “Pengamanan pada bahan bakar terhadap Bahaya Kebakaran karena Api Listrik”, Energi dan Listrik, 2000, 10(1); 01 – 07.
- [3] Utama, B., “Visualisasi Medan Listrik Impuls Petir pada Sistem Pemodelan SUTET 500 kV, 50 Hz”, Yogyakarta Universitas Gadjah Mada, 2002.
- [4] Maruvada, PS., Cavallius, NH., “Capacitance Calculation for some Basic High Voltage Electrode Configurations”, IEEE Trans. on Power Apparatur System 1975: Vol. PAS-94, No. 5, p. 1708 – 1713.
- [5] Deno, DW., “Calculating Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines”, IEEE PES 1974, p. 1458 – 1471.
- [6] Deno, DW., “**Electrostatic Effect Induction Formulae**”, IEEE Trans. On Power Apparatur and System. 1975: Vol. PAS-94, No. 5, p. 1524 – 1536.