

# ANALISIS AWAL KEBAKARAN TANGKI 36 T-102 PERTALITE PADA KAWASAN REFINERY UNIT IV CILACAP – JAWA TENGAH

**Budi Utama, Wayan Suparta, Dulhadi**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, 55281  
E-mail: budiutama@itny.ac.id

## **Abstrak**

Tulisan ini menganalisis sambaran petir induksi yang diduga menimbulkan kebakaran pada tangki 36 T-102 (berisi pertalite) di Pertamina refinery unit IV Cilacap – Jawa Tengah. Peristiwa kebakaran tangki ini ketika hujan lebat disertai dengan badai petir, pada hari Sabtu, 13 November 2021. Pernyataan yang dikeluarkan oleh BMKG bahwa terjadi kebakaran itu diakibatkan oleh fenomena induksi petir ke tangki penyimpanan bahan bakar pertalite, yaitu induksi petir pada titik pertama berjarak 45 km dan pada titik kedua berjarak 12 km. Analisis dikerjakan secara simulasi dengan menggunakan program Matlab yang berorientasi menentukan tegangan induksi petir yang menginvasi struktur metal tangki dan membandingkannya dengan tegangan penyalaan yang dimiliki oleh tangki 36 T-102. Sebagai parameter indikator terjadinya penyalaan bahan bakar yang bersifat flammable dikerjakan juga simulasi tegangan induksi petir sejauh 120 meter untuk parameter pembandingan. Hasil simulasi dengan indikator pembandingan terungkap bahwa terjadi kebakaran pada tangki bahan bakar pertalite pada tangki 36 T-102 bukan dikarenakan oleh sambaran petir sejauh 45 km dan sejauh 12 km melainkan oleh sambaran petir induksi pada kawasan sejauh ratusan meter, dimana sampel indikator pembandingan diambil sejauh 120 meter.

**Kata kunci:** Kebakaran, Ledakan, Tangki, Bahan bakar, Pertalite

## **Abstract**

This paper analyzes an induced lightning strike which is thought to have caused a fire in tank 36 T-102 (containing pertalite) at Pertamina refinery unit IV Cilacap – Central Java. This tank fire incident occurred when heavy rain was accompanied by a thunderstorm, on Saturday, November 13, 2021. The statement issued by BMKG that the fire occurred was caused by the phenomenon of lightning induction to the pertalite fuel storage tank, namely lightning induction at the first point a distance of 45 km and at the second point is 12 km. The analysis was carried out by simulation using the Matlab program which was oriented to determine the lightning induced voltage that invades the metal structure of the tank and compares it with the ignition voltage of the 36 T-102 tank. As an indicator parameter for the occurrence of ignition of flammable fuel, simulations of lightning induced voltages as far as 120 meters are also carried out for comparison parameters. The simulation results with comparison indicators revealed that there was a fire in the pertalite fuel tank in tank 36 T-102 it is not caused by lightning strikes as far as 45 km and as far as 12 km but possibly due to induced lightning strikes in an area as far of hundreds of meters, the sample comparison indicator as far as 120 meters.

**Keywords:** Firing, Exploding, Tank, Liquid-Fuel, Peratlite

## **1. PENDAHULUAN**

Setidaknya dalam tahun 2021 yang baru lalu, Pertamina sudah mengalami tiga kali insiden kebakaran pada tangki penyimpanan bahan bakar (yang bersifat *flammable*). Pertama, kebakaran kilang Balongan, Indramayu, Jawa Barat pada 29 Maret 2021 lalu. Kebakaran ini terjadi pada tangki 42-T-301 G. Berdasarkan investigasi, kejadian tersebut disebabkan karena adanya kebocoran pada tangkinya, jadi bukan faktor alam yaitu fenomena sambaran/induksi elektrostatis petir. Berselang tiga bulan, kini giliran tangki BBM (bahan Bakar Minyak) T-205 (tangki penyimpanan benzena) di kilang Cilacap, terbakar pada 11 Juni 2021 sekitar jam 19:45 WIB. Kebakaran pada tangki T-205 ini baru berhasil dipadamkan setelah 40 jam. Selanjutnya, lima bulan berselang, kembali areal tangki penyimpanan BBM unit kilang IV Cilacap terbakar. Kebakaran kali ini adalah tangki 36 T-102 yang berisikan komponen *Pertalite* terjadi pada 13 November 2021, jam 19:15 WIB [1]. Tangki 36 T-102 ini menampung komponen *Pertalite* sebanyak 31.000 kiloliter (jadi kerugian nilai rupiah sebesar  $31.000 \times 1.000 \times \text{Rp. } 7.650,- = 2,37 \times 10^{11} = \text{Rp. } 0,237 \text{ Triliun}$ ).

Pada waktu sebelum kejadian insiden kebakaran tanggal 13 November 2021, yaitu 11 Juni 2021, dalam zona area 29, unit kilang (*refinery-unit*) IV Pertamina, Cilacap, dimana kondisi cuaca saat itu sedang terjadi hujan deras disertai petir [1]. Demikian juga insiden pada 13 November 2021 pada waktu kejadian

kebakaran tangki 36 T-102 cuaca dalam kondisi hujan deras dan disertai dengan badai petir. Pemunculan “titik-api” adalah unsur (*agent*) yang layak dicurigai kenapa tangki yang memuat bahan bakar *flammable* (mudah terbakar) tersebut (misal *pertalite*, bensin, dll.) menjadi terbakar dan menimbulkan beberapa ledakan.

Pada konsep kelistrikan, atau yang lebih populer dikenal dengan istilah elektrostatik (*electrostatic*) atau listrik statis dimana muatan listrik yang ada akan dapat menimbulkan percik api (berbentuk jentik kecil) atau *spark* ketika kandungan muatan (listrik) sudah terlalu tinggi yang disertai dengan tingkat “kerapatan muatan listrik” yang tinggi pula dan diikuti dengan unsur tegangan listrik sebagai pemicu terjadinya *spark*. Kondisi lainnya adalah jika “kerapatan fluks” yang ditimbulkan oleh muatan tersebut tersebar berada dalam suatu ruang (*space*) semangkin meningkat, maka akan meningkatkan “angka intensitas medan listrik” disekitar material yang dimuati oleh muatan listrik tersebut.

Selain itu, kondisi muatan elektrostatik ini akan terbangkit jika zat cair (bahan bakar cair) bergerak bersinggungan dengan bahan material lainnya. Kondisi seperti ini terjadi ketika muatan tersebut mengalir lewat pipa *lead* atau selama proses pencampuran (*fixing*), penuangan (*pouring*), pemompaan (*pumping*), penyaringan (*filtering*) atau pengadukan (*agitating*) [2]. Sedangkan pada kondisi tertentu, khususnya di dalam *hydrocarbon*, muatan listrik ini dapat terakumulasi di dalam zat cair. Seandainya akumulasi muatan (listrik) ini sudah mencukupi, maka suatu percik statis (*static spark*) dapat terjadi dan bila ini terjadi mendekati pada suatu sifat yang dapat terbakar dari suatu campuran uap udara (*vapor air*) maka akan segera dapat terjadi suatu penyalan awal (*start ignition*) [2].

Sebagaimana dikutip oleh Golde [3], mengemukakan bahwa penyalan (api) oleh petir alam khususnya yang disebabkan oleh sebuah sambaran petir dengan ekor (gelombang *impulse*) yang cukup lama (*a long duration current tail*) akan mensuplai energi panas ke bahan bakar yang disentuhnya [3]. Hasil eksperimen ini dapat dikatakan bahwa gelombang *impulse* petir yang mempunyai ekor gelombang panjang berpotensi dapat menimbulkan titik nyala api.

Fakta ditempat kejadian yang telah dikumpulkan oleh Polda Jawa Tengah atas terbakarnya tangki 36 T-102 adalah bahwa ada kilatan cahaya petir pada pukul 19.10 WIB. Sementara itu, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mengatakan bahwa pada hari kejadian, yaitu 13 November 2021, terdapat dua titik petir pada jarak 45 km dan 12 km [4]. Pernyataan ada kilatan petir diperoleh dari tujuh rekaman CCTV (*Closed Circuit Television*) di sekitar lokasi. Ini menunjukkan bahwa proses induksi elektrostatik petir telah terjadi pada ke dua jarak yang disebutkan oleh BMKG di atas.

Pada cakupan yang lebih tepat dapat dikatakan bahwa sebuah sambaran petir dapat diistilahkan atau disebut menimbulkan dampak elektrostatik bila terjadi didominasi oleh jarak yang pendek/dekat dengan titik sambaran, juga menimbulkan dampak radiasi bila titik sambaran didominasi oleh jarak yang jauh, dan menimbulkan dampak induksi bila titik sambaran berada pada jarak menengah [5].

Tulisan ini bertujuan untuk menunjuk-temukan apakah sambaran petir “induksi” sejauh 45 km dan 12 km sudah masuk dalam katagori berpotensi menimbulkan kebakaran pada tangki 36 T-102 yang di awali dengan sebuah penyalan awal (*start ignition*).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Induksi Petir

Model induksi petir dibentuk dari beberapa variabel karakteristik dari sebuah sambaran balasan (*return stroke*), jarak terdekat kanal sambaran balasan dengan struktur yang tersambar, kecepatan sambaran balasan. Sedangkan kecepatan sambaran balasan merupakan fungsi perpangkatan dari amplitudo arus sambaran balasannya [6].

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

Hubungan selanjutnya adalah [6],

$$\text{untuk sambaran pertama} \rightarrow \beta = 0.004 \cdot I^{0.64} + 0.068 \quad (2)$$

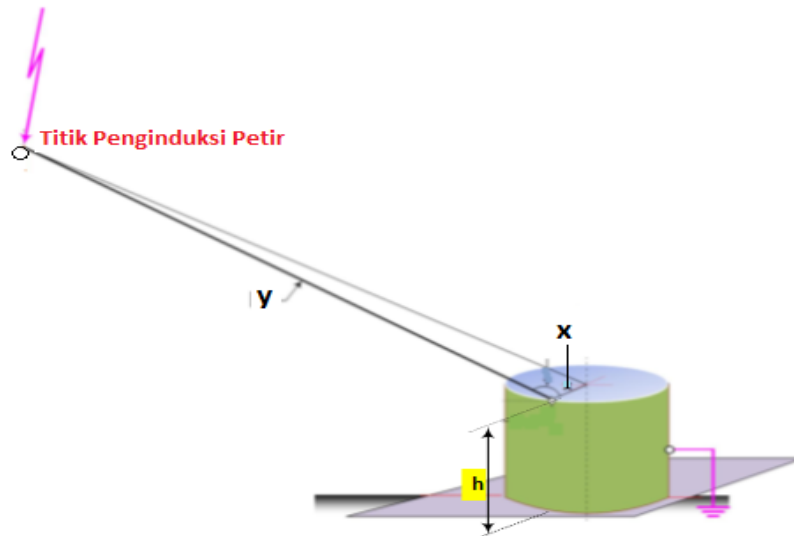
$$\text{untuk sambaran berikutnya} \rightarrow \beta = 0.004 \cdot I^{0.86} + 0.18 \quad (3)$$

$$Z_o = \left( \frac{1}{4 \cdot \pi} \right) \sqrt{\left( \frac{\mu_o}{\epsilon_o} \right)} \cong 30 \text{ Ohm.} \quad (4)$$

dengan,  $U = V_i$  (tegangan induksi petir dlm. satuan Volt) ;  $I$  = Amplitudo arus petir (Amper) ;  $x$  = jarak posisi titik pada struktur yang akan dihitung tegangan induksinya (meter) ;  $y$  = jarak tersingkat / terpendek

dari struktur yg mengalami proses induksi petir (meter) ;  $c$  = kecepatan cahaya (meter per detik) ;  $t$  = waktu tinjauan terhadap satu sambaran petir (detik) ;  $\beta$  = 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), dan  $h$  = Titik ketinggian struktur yang Kitingan terpapar induksi petir (meter).

Gambar 1 menunjukkan lokasi dan proses pengukuran parameter untuk data simulasi pada program komputer (menggunakan Matlab). Sebuah sambaran petir sejauh 'y' meter (Gbr. 1) menginduksikan gelombang elektromagnetik ke tangki dalam bentuk tegangan induksi dan mempunyai satuan Volt. Tegangan hasil kontribusi dari sambaran petir ini akan terakumulasi ke metal-metal tangki dan menimbulkan medan listrik pada celah udara yang ada diantara penutup tangki dan permukaan atas bahan bakar (dalam hal ini tangki berisi bahan bakar *pertalite*). Sebuah sambaran petir akan menimbulkan dampak elektrostatik, induksi, dan radiasi.



Gambar 1. Model Geometris sambaran balasan (*return stroke*)

## 2.2 Kapasitans Tangki

Metoda penentuan nilai kapasitans dari tangki ditentukan melalui *modelling* geometris dan perhitungan yang digunakan oleh Maruvada, dkk. [7].



(a)

Gambar 2. Kondisi Tangki 36 T-102 yang terbakar berdampingan dgn Tangki 36 T-101 yang terselamatkan dari kebakaran



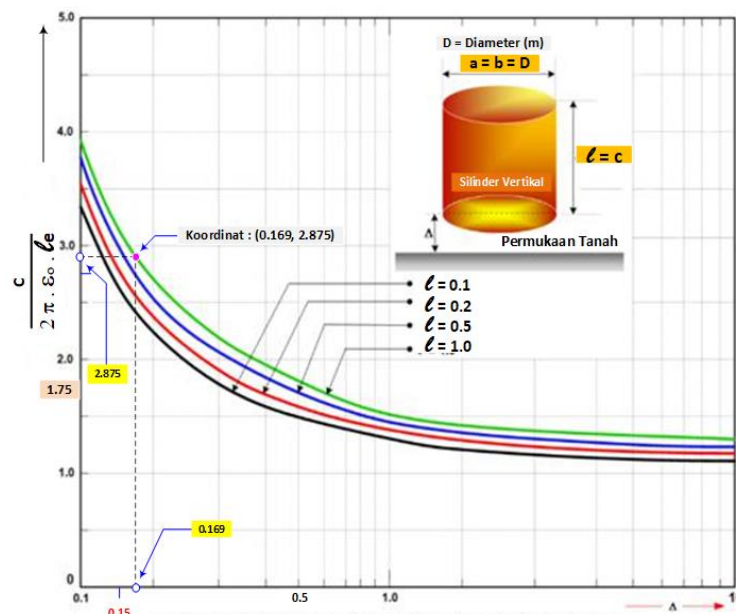
(b)

Gambar 2. Kondisi Tangki 36 T-102 yang terbakar berdampingan dengan Tangki 36 T-103 yang terselamatkan dari kebakaran

### 2.3. Studi Konfigurasi Elektroda

Studi konfigurasi elektroda bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitans (dalam satuan Farad) dari suatu celah di dalam badan struktur. Nilai kapasitans ini diperlukan untuk mendapatkan nilai pada angka berapa tegangan percik terjadi ketika celah struktur tsb tereksitasi oleh tegangan eksternal (contoh tegangan induksi petir). Di dalam studi konfigurasi, dideskripsikan beberapa metoda dalam menentukan distribusi muatan di dalam sosok struktur terhadap tanah (karena tanah selalu dan tetap berpotensi 0 Volt) [7]. Untuk model struktur yang berbentuk struktur silinder vertikal (struktur tangki 36 T-102 yang terbakar) di gunakan pemodelan seperti Gbr. 3 [7,8].

Nilai kapasitans tangki silinder vertikal terhadap tanah dihitung dengan pendekatan Gbr. 3. Sedangkan dimensi yang diperlukan untuk penentuan Cog (kapasitans terhadap tanah) adalah dimensi tangki 36 T-102, yaitu diameter 20 meter dan ketinggian 18 meter. Pemilihan dimensi ini atas pertimbangan model tangki yang pernah di gunakan [7,8].

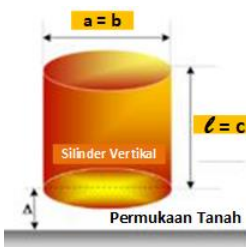


Gambar 3. Modelling Grafik untuk menentukan Kapasitans Silinder Vertikal Sebagai *representative* Tangki 36 T-102

Panjang eqivalen pada sisi yang lain dinotasikan sebagai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$ . Untuk modelling silinder vertikal  $a = b = 20$  meter = diameter tangki. Karena pada *modelling* yang digunakan oleh Maruvada dan Cavallius  $a$  dan  $b$  adalah berdimensi 1 (satu) maka untuk dapat menggunakan *modelling* ini perlu dilakukan

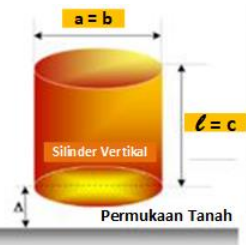
normalisasi ukuran  $a$  dan  $b$  menjadi 1 (satu) dengan cara membagi semua dimensi  $a$ ,  $b$  dan  $c = l$  dengan diameter tangki yang sebenarnya, yaitu sebesar 20 meter sehingga diperoleh  $a = (20/20) = 1 = b$ ; dan  $c = 18/20 = 0.9$ , dengan demikian kurva yang digunakan adalah kurva  $l = 1.0$  karena mendekati dengan 0.9 (lihat Gbr. 3). Nilai  $\Delta$  di ambil sebesar 0.76 meter. Tabel 1 adalah hasil proses normalisasi.

Tabel 1. Normalisasi dimensi Tangki 36 T-102

Tipe Tangki	Dimensi Segmen Tangki [meter]				Dimensi setelah dinormalisasi (tampa satuan) dibagi dengan dimensi "a"			
	$a$	$b$	$c$	$\Delta$	$a'$	$b'$	$c' = l$	$\Delta'$
 <p>Tangki : 36 T - 102</p>	20	20	18	0.76	1.00	1.00	0.9	0.169

Dengan melakukan normalisasi maka angka angka normalisasi  $a'$ ,  $b'$ , dan  $c'$  menjadi bersesuaian dengan (*corresponding to*) Gambar 3, yaitu *modelling* yang digunakan. Nilai kapasitans tangki tipe 36 T-102 ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kapasitans Tangki 36 T-102

Tipe Tangki	Nilai : $le = (a + b + c) / (3)$	Nilai lihat Gbr. 3 : $[ C / (2 \pi \cdot \epsilon_0 \cdot le) ]$	Nilai Kapasitans Tangki 36 T-102 = C [Farad]
 <p>Tangki : 36 T - 102</p>	$le = (20 + 20 + 18)/3 = 19.333$	2.875	$(3.09164 \times 10^{-9})$

**2.4. Tegangan Penyalaan ( $V_p = 1.643,2$  Volt)**

Tegangan penyalaan diperoleh dari hasil eksperimen sebagaimana yang dikutip oleh Deno dan Zaffanella dalam EPRI [9]. Berikut beberapa informasi dari hasil eksperimennya:

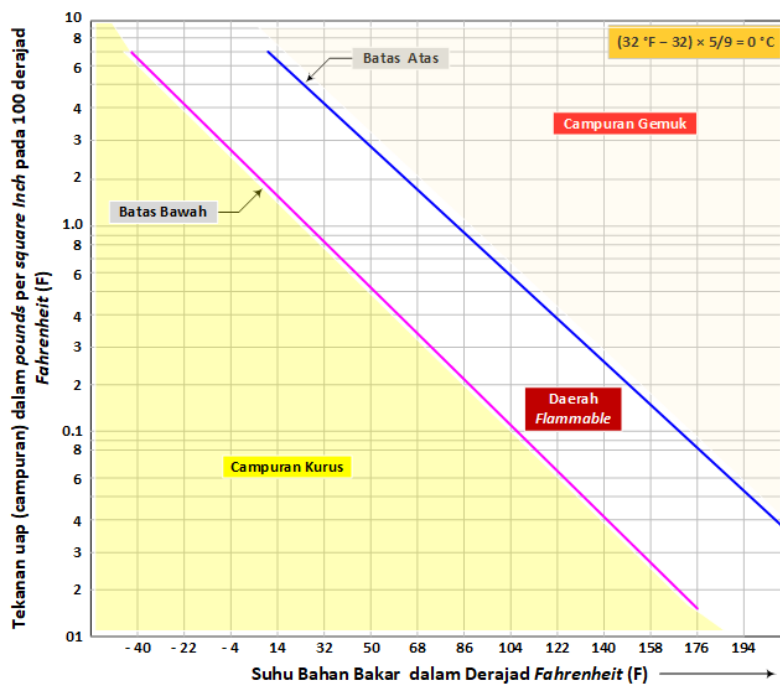
1. Tangki kendaraan (dalam eksperimennya diambil tangki yang miniature) disimulasikan / dimodelkan dengan sebuah elektroda yang berupa cerat dan sebuah container terbuka yang diisi dengan *gasoline* dan penekanan pengamatannya dilakukan terhadap kejadian luah persikan (*spark discharge*) diantara elektrodanya.
2. Untuk mendapatkan tegangan penyalaan dilakukan test terhadap nilai kapasitans yang berbeda beda dalam suatu induksi medan elektrostatis.
3. Hasil eksperimen (dengan mempertimbangkan butir 1 dan 2 di atas) yang telah dikerjakan digeneralisasi dengan pembentukan *modelling* sebuah persamaan yang mengekspresikan hubungan antara tegangan terbuka (maksudnya pada celahnya)  $V_{oc}$  dan  $C_{og}$  (nilai kapasitans tanah terhadap tanah) melalui persamaan perpangkatan [9]:

$$V_{oc} = 4.6 \times C^{-0.3} \text{ Volt} \tag{5}$$

Jika kita memasukan nilai kapasitans tangki 36 T-102 (Tabel 2) ke dalam persamaan (5) maka akan didapat tegangan penyalan,  $V_p$  sebesar 1.643,2 Volt. Jika nilai tegangan ini dilewati maka akan terjadi percik listrik (*electric spark*). Kejadian seperti ini dapat dilihat dalam keseharian, ketika menghidupkan sepeda motor maka pada elektroda businya terjadi percikan api. Ini adalah percik api yang ditimbulkan oleh fenomena kelistrikan luah percik (*spark discharge*) yang terkait dengan kekuatan dielektrik medium udara dan kondisi medium diantara celah elektroda dan anoda businya.

## 2.5. Kondisi Stoichiometric Bahan Bakar

Kondisi *stoichiometric* adalah kondisi dimana uap bahan bakar dan udara sudah mencapai status siap untuk terjadi “penyalan api”. Dalam kondisi ini bahan bahan bakar sudah bersifat *flammable*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa campuran uap bahan bakar dan udara tidak masuk pada batasan / koridor “campuran gemuk” (batas atas) dan juga tidak masuk pada koridor “campuran kurus” (batas bawah). Status seperti ini ditunjukkan oleh Gbr. 4.



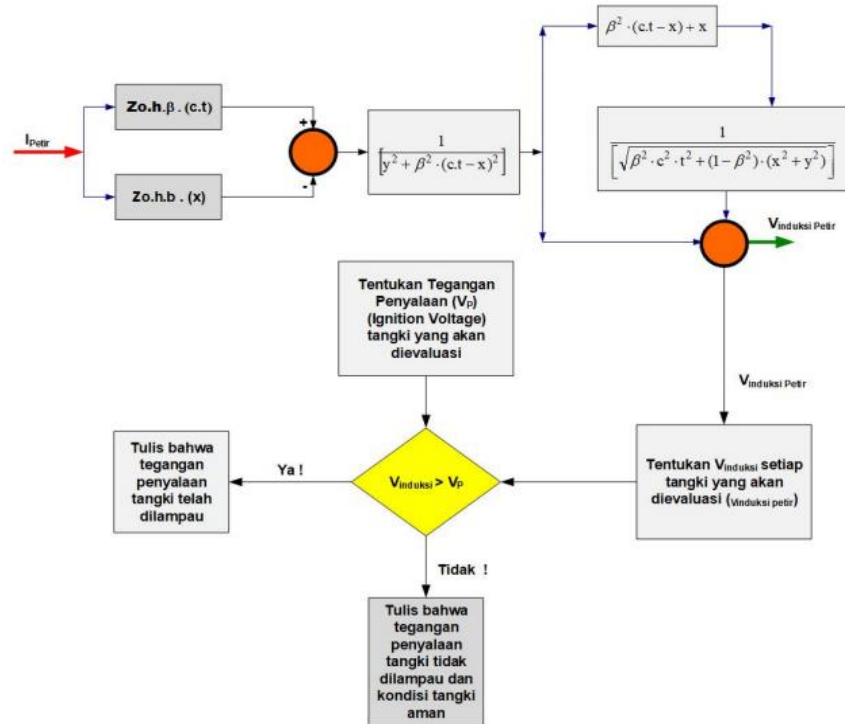
Gambar 4. Hubungan antara temperatur, tekanan campuran gas-udara, dan batas zona *flammable* dari cairan bahan bakar

## 2.6. Penyalan Bahan Bakar dan Tegangan Induksi Petir

Bahan bakar cair yang mudah terbakar dapat berupa bensin, pertamax, premium, dan pertalite. Bahan bakar ini disetiap kilang bahan bakar (*refinery*) disimpan dalam tangki besar yang berupa geometris silinderis (*storage tank*). Setiap tangki selalu membentuk efek kapasitor dimana nilai kapasitans (dengan satuan Farad) selalu terbentuk untuk setiap struktur tangki. Karena tangki ini selalu membentuk geometris ruang kapasitor maka diseluruh sosok tangki, baik diluar maupun di dalam tangki akan selalu terbentuk celah. Sebagian celah terisi udara dan terisi oleh bahan bakar yang disimpan di dalam tangki tersebut.

Apabila celah ini terpapar medan listrik maka celah berpotensi untuk terjadi percik api listrik (*spark*). Medan listrik yang berada dicelah bisa dibangkitkan oleh unsur eksternal maupun internal. Contoh untuk eksternal adalah sambaran petir langsung maupun sambaran petir tak langsung (induksi sambaran petir). Karena sifat kapasitor adalah mampu menyimpan energi medan listrik maka sewaktu waktu medan listrik ini dapat dipicu (*trigger*) dari sebuah tegangan yang dieksitasikan ke dalam sebuah bentuk bangun kapasitor melalui besar kecilnya nilai kapasitans yang dikandung oleh tangki tersebut bersama bahan bakar yang ada di dalamnya. Tegangan ini dikenal sebagai tegang penyalan ( $V_p$ ). Disisi lain bahan bakar yang tersimpan di dalam tangki sewaktu waktu berpotensi menjadi kondisi *stoichiometric*.

Berikut di bawah ini alur proses terjadi penyalan bahan bakar (yang sdh dalam kondisi *stoichiometric*) yang disebabkan oleh invansi dari tegangan induksi petir terhadap tegangan penyalan  $V_p$ .



Gambar 5. Variabel tegangan Induksi Petir dibandingkan dengan tegangan penyalan ( $V_p$ ) untuk mengetahui penyalan awal (*start ignition*)

### 3. HASIL DAN ANALISIS

#### 3.1 Tegangan Induksi Petir

##### Tegangan Induksi Petir pada Jarak 45 km.

Untuk sambaran petir dengan amplitudo arus 41 kA dengan titik sambaran sejauh 45 km dari posisi tangki 36 T-102 ternyata kurva yang diperoleh dari hasil simulasi ditunjukkan Gbr. 6.



Gambar 6. Induksi petir 41 kA dgn titik sambaran sejauh 45 km dari Posisi Tangki 36 T-102 (Isi Peralite)

Tegangan induksi tertinggi yang menginvasi tangki 36 T-102 ketika terjadi sambaran petir pada titik sejauh 45 km sebesar  $(3,2423 \times 10^{-4} \text{ Volt per Amper sambaran petir}) \times 41.000 \text{ Amper} = 13.2934 \text{ Volt}$ .



Tegangan induksinya jauh di bawah tegangan penyalan yang besarnya ( $V_p$ ) = 1.643,2 Volt. Jadi efek induksi elek trostatik ini tidak akan memicu terjadinya jentik api listrik (*electric spark*) dan tangki dapat dinyatakan aman terha dap timbulnya jentik api listrik. Akan tetapi tidak akan menutup kemungkinan di dalam tangki 36 T-102 tsb (celah udara di dalamnya) sudah terjadi kondisi *stoichiometric*.

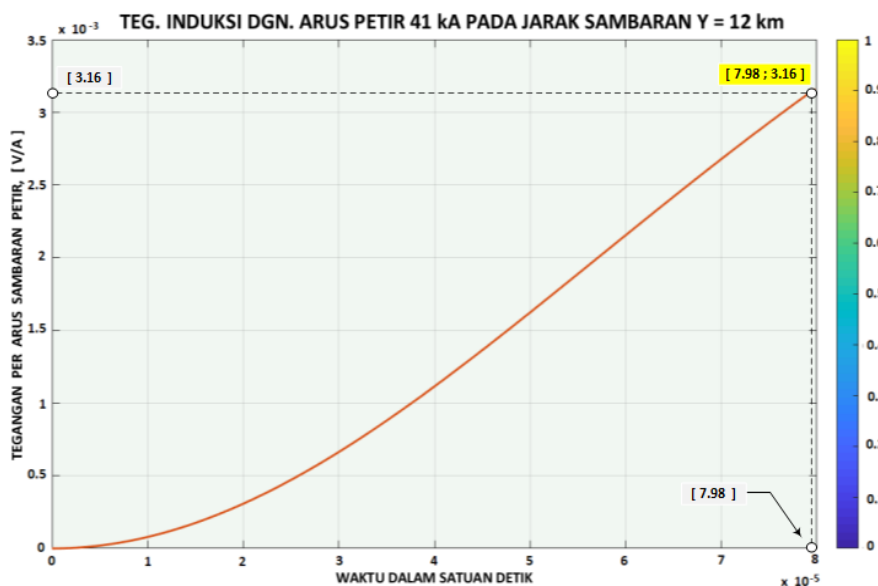
Tabel 1 menunjukkan sebagian luaran simulasi yang telah dikerjakan pada kondisi saat sebuah sambaran petir terjadi pada suatu titik yang terletak sejauh 45 km dari posisi tangki *Pertalite* 36 T-102 berada.

Tabel 1. Tegang Induksi Petir 41 kA Sejauh 45 km

Waktu Tinjauan (detik)	Teg. Induksi Petir (Volt per Amper)
0.0001556	0.000316480574
0.0001558	0.000317183426
0.0001560	0.000317886675
0.0001562	0.000185903183
0.0001564	0.000319294355
0.0001566	0.000319998785
0.0001568	0.000320703605
0.0001570	0.000321408813
0.0001572	0.000322114409
0.0001574	0.000322820392
0.0001576	0.000323526759
0.0001578	0.000324233509

#### Tegangan Induksi Petir pada Jarak 12 km

Sambarn petir dengan amplitudo arus 41 kA dengan titik sambaran sejauh 12 km telah dikerjakan secara simulasi dan menghasilkan gelombang tegangan induksi dengan nilai puncak berbanding lurus dengan waktu tinjauan ( $t$ ), yang menuju kecuraman muka gelombang landai dan mengha silkan gelombang impuls seperti Gbr. 7. Kelandaian muka gelombang sedikit menyerupai bentuk gelombang sebagaimana ditunjukkan Gbr. 6.



Gambar 7. Induksi Petir 41 kA dgn titik sambaran sejauh 12 km dari Posisi Tangki 36 T-102 (isi *Pertalite*)

Untuk titik sambaran petir sejauh 12 km = 12 000 meter dari lokasi tangki 36 T-102, tegangan induksi tertinggi yang terakumulasi di dalam metal tangki adalah sebesar  $(3,16 \times 10^{-3}$  Volt per Amper



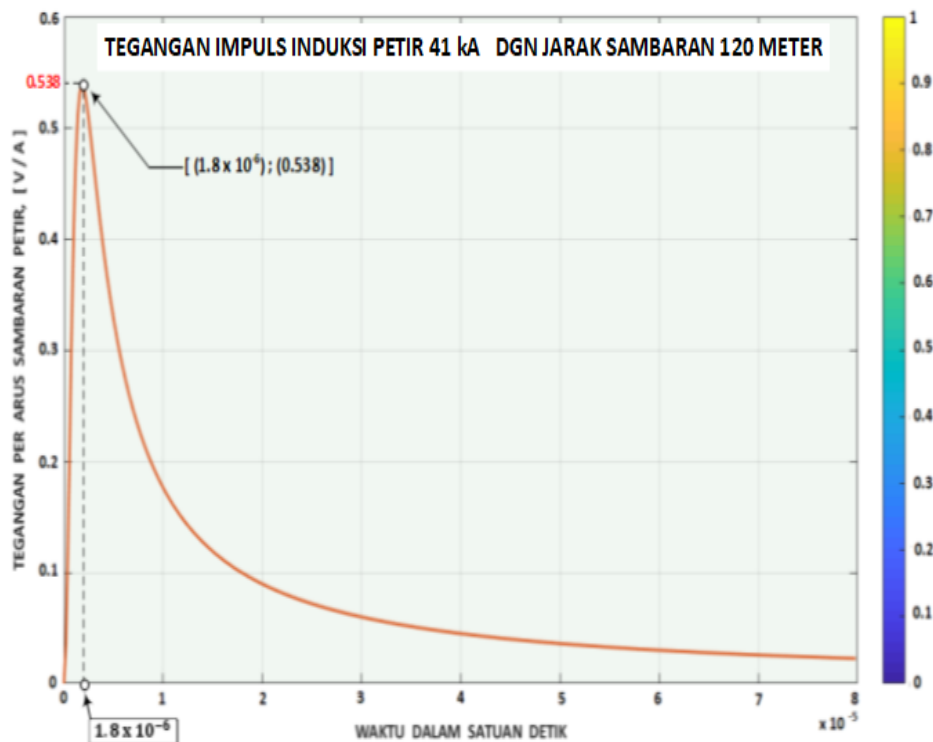
sambaran petir)  $\times 41.000$  Amper = 129,56 Volt. Nilai tegangan induksinya untuk jarak sambaran 12 km juga masih berada jauh di bawah tegangan penyalan ( $V_p$ ) = 1.643,2 Volt.

### 3.2 Sambaran Petir Pemanding

Sambaran pemanding dikerjakan secara simulasi untuk mendapatkan nilai angka tegangan yang sudah melampaui tegangan penyalan dan sekaligus mengetahui angka jarak sambaran petir yang sudah mampu melampaui tegangan penyalan bahan bakar *pertalite* di dalam tangki 36 T-102. Kondisi ini diciptakan mengingat untuk sambaran petir yang berjarak 45 km dan 12 km bahwa tegangan penyalan belum dilampaui.

#### 3.2.1. Tegangan Induksi Petir untuk jarak sambaran 120 meter

Kondisi sambaran petir dengan jarak 120 meter cukup untuk melihat kapan tangki 36 T-102 dalam status kritis terhadap kebakaran yang disertai dengan ledakan. Gbr. 8 di bawah ini menunjukkan tegangan induksi yang berbentuk *impulse* (gelombang tegangan dengan muka gelombang yang sangat curam dan disertai dengan angka amplitudo yang tinggi).



Gambar 8. Simulasi Tegangan Impuls Induksi Petir pada Jarak 120 meter dari Posisi Tangki 36 T-102 (sebagai pembandingan)

Tegangan induksi yang dimunculkan oleh bentuk gelombang ini sebesar ( $V_{ind}$ ) =  $(0,538 \times 41.000)$  = 22,058 Volt, dan melebihi tegangan penyalan tangki, yaitu sebesar ( $V_p$ ) = 1 643.2 Volt. Jika tegangan penyalan,  $V_p$ , sudah dilampaui (artinya secara matematik,  $V_{ind} > V_p$ ) maka untuk terjadinya penyalan awal (*startignition*) pada bahan bakar *pertalite* hanya tinggal menunggu kondisi di dalam tangki tersebut berstatus *stoichiometric*. Apabila kondisi (status) *stoichiometric* telah terpenuhi di dalam ruang (*space*) tangki 36 T-102 maka bahan bakar *pertalite* tersebut sudah menjadi bersifat mudah terbakar (*flammable*).

#### 3.2.2. Terjadi kebakaran dan ledakan

Untuk terjadi kebakaran harus mengikuti tiori/postulat “segitiga-api” [10]. Unsur api dapat terjadi bila ketiga unsur seperti bahan bakar (*fuel*), udara (oksigen) dan sumber panas berada dalam suatu konsentrasi yang memenuhi syarat (reaksi kimia), maka akan terjadi reaksi oksidasi atau dikenal sebagai proses pembakaran. Dalam insiden kebakaran tangki 36 T-102 sumber panasnya berupa besaran listrik yang berkembang menjadi fenomena (gejala) luah elektrostatis (*electrostatic discharge*, ESD) yang terjadi di struktur struktur sosok (*body*) tangki. yang mempunyai celah udara dan celah yang terisi oleh cairan

*pertalite*). Pada awalnya celah ini dalam kondisi stabil (tidak terpapar oleh medan listrik), akan tetapi ketika fenomena kelistrikan menyentuh metal metal tangki (termasuk induksi petir) maka secara keseluruhan semua celah yang terbentuk di dalam tengki akan terisi oleh paparan medan listrik dan mengandung gradien tegangan (dalam satuan volt per meter) dalam pola tiga dimensi. Hal ini dapat di minimalisasi dengan melakukan pentanahan (*grounding*) disetiap struktur logam/metal yang menyentuh tangki dan juga termasuk tangkinya itu sendiri.

Apabila kondisi bahan bakar *pertalite* dan udara disetiap titik yang ada di dalam ruang tangki ini sudah masuk ke dalam status *stoichiometric* dan dalam waktu yang bersamaan bertemu dengan kondisi dimana tegangan penyalan telah dilampaui (lebih besar daripada 1,643.2 Volt) maka bahan bakar sudah siap untuk menimbulkan ledakan. Sebaliknya untuk tidak terjadi kebakaran / ledakan harus memisahkan status *stoichiometric* dan status terjadinya nilai tegangan yang melebihi tegangan penyalan ( $V_p$ ) jangan sampai bertemu dalam suatu waktu yang bersamaan. Konsep ini serupa dengan “teori segitiga-api”.

### 3.3 Elektrostatis, Induksi dan Radiasi

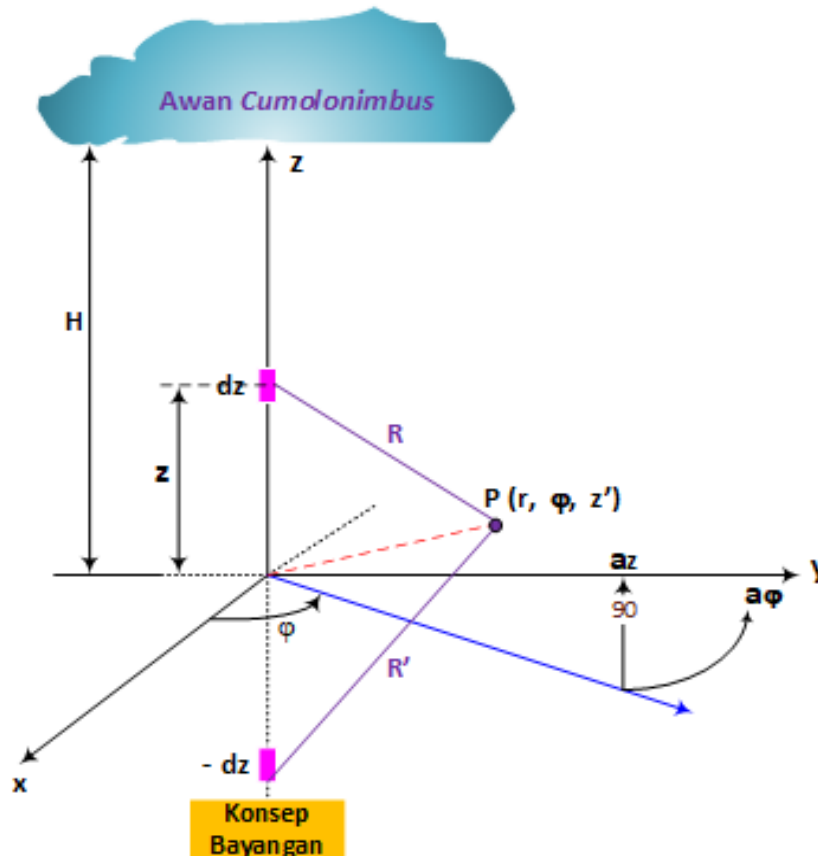
Pasca terjadi kebakaran pada tangki 36 T-102 Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), berdasarkan hasil pengamatannya, ada dua titik sambaran petir pada pukul 19:10 WIB yang berjarak masing masing 45 km dan 12 km. Akan tetapi, bila kita kaitkan dengan konsep kecepatan cahaya dan kecepatan suara untuk jarak sambaran petir yang sedemikian jauhnya, yaitu 45 km dan 12 km, maka suara guruhnya (geledak) tidak akan terdengar. Pada kejadian secara alamiah, semangkin dekat kilatan cahaya petir maka semangkin cepat terdengar suarah guruhnya (geledak). Pada hasil simulasi untuk jarak 45 km dan 12 km ternyata/terungkap bahwa tegangan induksinya masing masing muncul sebesar 13,2934 Volt dan 129,56 Volt kedua nilai tegangan ini masih di bawah tegangan penyalan tangki (1,643.2 Volt).

Sebuah sambaran petir dapat menimbulkan dampak elektrostatis, induksi dan dampak radiasi. Ketiga dampak ini oleh Sorwar dan Gosling [6] di nyatakan dalam bentuk formulasi berikut:

$$d\bar{E}_z = \frac{dz}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{2(z-z')^2 - r^2}{R^5} \int_0^t i\left(z', t - \frac{R}{c}\right) dt + \frac{2(z-z') - r^2}{c \cdot R^4} i\left(z', t - \frac{R}{c}\right) - \frac{r^2}{c^2 \cdot R^3} \cdot \frac{\partial i\left(z', t - \frac{R}{c}\right)}{\partial t} \right] \cdot \hat{a}_z \quad (6)$$

$$d\bar{E}_r = \frac{dz}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{3r(z-z')}{R^5} \int_0^t i\left(z', t - \frac{R}{c}\right) dt + \frac{3r(z-z')}{c \cdot R^4} i\left(z', t - \frac{R}{c}\right) + \frac{r(z-z')}{c^2 \cdot R^3} \frac{\partial i\left(z', t - \frac{R}{c}\right)}{\partial t} \right] \cdot \hat{a}_r \quad (7)$$

Tangki 36 T-102 memang mengalami radiasi dari sambaran yang berjarak 45 km dan 12 km radiasi (bukan induksi) ini bergantung dengan besarnya variabel R, sebagaimana tercantum pada persamaan (6) dan (7). Namun demikian nilai tegangan petirnya hanya berkontribusi kecil sehingga tidak mengganggu / menyentuh dan melampaui tegangan penyalan,  $V_p$ , di dalam tangki 36 T-102. Hal ini jelas pada ekspressi persamaan (6) dan (7), variabel jarak sambarannya (R), mengandung unsur perpangkatan dan berbanding terbalik, sehingga semangkin besar nilai R maka semangkin kecil medan listrik yang ditimbulkan dan diikuti dengan semangkin kecil juga tegangan yang terakumulasi di dalam metal tangki. Untuk mengatisipasi tegangan yang terakumulasi di dalam metal perlu dan penting sekali untuk dibuatkan sistem *grounding* tangki yang mempunyai resistans pentanahan sekecil mungkin (biasanya dipilih angka 0,01 Ohm untuk proteksi instalasi petir).



Gambar 9. Geometris Model Radiasi Petir (koordinat silinderis) dengan Perhitungan Paparan Medan listrik melalui Persamaan (6) dan (7)

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis melalui simulasi dengan menggunakan pendekatan model struktur tangki serta konsep/teori pemunculan jentik api di dalam tangki 36 T-102 yang diduga melalui induksi jarak jauh (45 km dan 12 km) dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Kilatan petir (*lightning flash*) yang terjadi pada jarak 45 km dan 12 km memunculkan dampak radiasi, bukan dikatakan sebagai induksi petir sebagaimana yang pernah diduga sebelumnya.
2. Radiasi ini memang menimbulkan nilai tegangan yang dirasakan oleh sosok (*body*) tangki 36 T-102 tetapi tidak melampaui tegangan penyalaan (mengingat bahwa isi tangki adalah bahan bakar yang bersifat *flammable*) sehingga kebakaran dan ledakan yang terjadi dapat dikatakan bukan diakibatkan dari proses kilatan petir (*lightning flash*) yang berjarak 45 km dan 12 km ini.
3. Hal yang bisa membuat kebakaran dan ledakan adalah sambaran petir induksi dalam jangkauan ratusan meter atau tepatnya pada jarak 120 meter (sebagaimana disimulasikan sebagai parameter pembanding) dari posisi tangki 36 T-102.
4. Faktor yang membuat terjadi kebakaran dan ledakan tidak terlepas dari teori segitiga api dan sifat bahan bakar yang gampang menyala (*flammable*) dan berpotensi dapat masuk ke status *stoichiometric*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daftar Kebakaran Kilang Pertamina, [https://bit.ly/daftar\\_kebakaran\\_kilangminyak\\_cilacap](https://bit.ly/daftar_kebakaran_kilangminyak_cilacap) [Diakses 30 Desember 2021]
- [2] Iskanto E. Pengaman pada Bahan Bakar terhadap Bahaya Kebakaran karena Api Listrik Statis, *Energi dan Listrik*, 2000, 10(1): 1 – 7.
- [3] Golde R. *Lightning*, 2: 843 – 845, Academic Press Inc., New York, NY – USA, 1977.
- [4] Kebakaran Kilang Minyak Pertamina Cilaca Diduga Akibat Sambaran Petir, [https://bit.ly/kebakaran\\_tanki\\_cilacap\\_1](https://bit.ly/kebakaran_tanki_cilacap_1) [Diakses 15 November 2021]

- 
- [5] Sorwar MG, Gosling IG. *Lightning Radiated Electric Fields and Their Contribution to Induced Voltages*, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Seattle, Washington, WA – USA, 1999.
  - [6] Eriksson AJ, Stringfellow MF, Meal DV. Lightning-Induced Overvoltage on Overhead Distribution Lines. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 4. April 1982.
  - [7] Maruvada, PS, Cavallius NH. Capacitance Calculations for Some Basic High Voltage Electrode Configurations, IEEE Transactions on Power and System, Vol. PAS-94, No. 5, September/October 1975.
  - [8] Utama B. *Dampak Tegangan Induksi Petir pada Tangki Penyimpanan Bahan Bakar Cair Flammable*. Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, ReTII-XIV, Yogyakarta, 2019, XIV, – 316.
  - [9] Deno DW, Zaffanella LE. Transmission Line Reference Book 345 kV and Above, 3412 Hillview Avenue, Palo Alto, Electric Power Research Institute (EPRI), 1975: 264 – 267.
  - [10] *Teori Segitiga Api - Triangle of Fire*”, <http://kiscerti.co.id/artikel/teori-segitiga-api-triangle-of-fire> [Diakses 22 November 2021]