JOURNAL OF FORENSIC EXPERT

Volume 1 Issue 3, 2021, 39-47

Journal Homepage: <https://journalofforensicexpert.id>

e-ISSN: 2808-5248

PUSLABFOR BARESKRIM POLRI

ANALISIS KEBOCORAN & KEBAKARAN TANGKI BLENDING BAHAN

BAKAR MIGAS

Sulistiana Agung Riyanto*, Vidya Rina Wulandari, Bagus P. Arfyansyah

Puslabfor Bareskrim Polri, Indonesia

*Correspondence E-mail: forensikmetalurgi@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 August 2021

Revised 22 September 2021

Accepted 25 Oktober 2021

Available online 19 Oktober 2021

Keywords: Tank, Leakage, Fire, Fuel, Corrosion

Kata kunci: Tangki, Kebocoran, Kebakaran, BBM, Korosi

DOI:

<https://doi.org/10.54579/jfe.v1i3.6>

How to Cite :

Riyanto, Sulistiana A., Wulandari, V. R., Arfyansyah, B. P. (2021). Analisis Kebocoran & Kebakaran Tangki Blending Bahan Bakar Migas. *Journal of Forensic Expert*, 1(3), 39-47.

ABSTRACT

Explosions and fires that occurred in the blending/mixing tanks of fuel with naphtha to produce pertalite type fuel were initiated by a leak in the tank wall. Based on the results of observations, inspections and tests that have been carried out, the leak of the tank which is the cause of the explosion and fire is the result of the reaction of the tank wall in the weld joint area with base metal (HAZ) which is susceptible to corrosion with acidic tank fluid contents (pH- 5) so as to form an acidic and corrosive environment in the tank with the formation of H₂S as a corrosion initiator, reinforced by the discovery of corrosion products in the form of MnS, FeS₂, and FeS compounds, elements (S), and the appearance of fractography in the form of white dots indicating uniform corrosion if it occurs for a long time can erode the tank wall and form a leak hole.

ABSTRAK

Ledakan dan kebakaran yang terjadi pada tangki-tangki blending/pencampuran antara bahan bakar dengan nafta untuk menghasilkan BBM jenis pertalite diawali oleh adanya kebocoran dinding tangki. Berdasarkan hasil pengamatan, pemeriksaan dan pengujian yang telah dilakukan, kebocoran tangki yang menjadi penyebab ledakan dan kebakaran adalah sebagai akibat bereaksinya dinding tangki pada daerah sambungan las dengan logam dasar (HAZ) yang bersifat rentan terhadap korosi dengan fluida isi tangki yang bersifat asam (pH-5) sehingga membentuk lingkungan di dalam tangki yang bersifat asam dan korosif dengan terbentuknya H₂S sebagai inisiator korosi, diperkuat dengan ditemukannya produk korosi berupa senyawa MnS, FeS₂, dan FeS, unsur (S), dan penampakan fraktografi berupa titik-titik putih tanda korosi merata jika terjadi dalam waktu yang lama dapat mengikis dinding tangki dan terbentuk lubang kebocoran.

Pendahuluan

Peristiwa kecelakaan terhadap tangki penampungan di fasilitas industri tercatat telah 242 kasus selama 40 tahun kebelakang. Berdasarkan studi analisa penyebab kecelakaan melalui penerapan diagram fishbone, menunjukkan bahwa 74% kecelakaan terjadi di fasilitas refinery kilang minyak, penyimpanan atau terminal oli. 85% kebakaran dan ledakan yang pernah terjadi 80 kasus (33%) disebabkan oleh petir dan 72 kasus (30%) disebabkan oleh kesalahan manusia termasuk maintenance dan operasional yang buruk (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2006).

Peristiwa baru yaitu ledakan dan kebakaran yang terjadi pada tangki-tangki *blending*/pencampuran antara bahan bakar dengan nafta untuk menghasilkan BBM jenis pertalite (tangki-1) (Gambar. 1), yang sebelumnya diawali oleh terjadinya kebocoran minyak pada salah satu tangki tersebut. Dari ke-4 tangki tersebut ditemukan dalam keadaan rusak terdeformasi melengkung dan terlipat-lipat. Selain itu, kerusakan pada salah satu tangki memiliki ciri khas berbeda dari 3 tangki yang lain yaitu berupa dinding tangki yang melengkung ke tanah efek dari ledakan disekitar tangki tersebut. Tangki yang mengalami kebocoran memiliki spesifikasi kapasitas 29.000 m³, berdimensi tinggi 15,5 m dan diameter 55 m, dinding tangki tersusun dari 6 sel logam berbahan dasar baja ASTM A573 Gr 70 dengan sambungan las yang digunakan pada temperatur operasi 40°C. Ditemukan tangki pembanding tangki lainnya dengan spesifikasi yang sama (Gambar. 2).

Gambar. 1 Peristiwa ledakan dan kebakaran tangki blending BBM

Gambar. 2 Tangki pembanding tangki yang mengalami kebocoran dengan spesifikasi yang sama

Sebagai upaya agar kegagalan tangki blending yaitu kebocoran dan kebakaran/ ledakan tidak terulang kembali, maka dilakukan analisis kegagalan terhadap tangki blending BBM tersebut, sehingga kerugian-kerugian baik material maupun non material yang disebabkan oleh kegagalan tersebut dapat dicegah dimasa mendatang.

Metode

Analisa kegagalan melalui metoda diagram fishbone (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2006), yang dilakukan terhadap tangki blending BBM yang mengalami kebocoran serta ledakan/kebakaran, dilakukan langkah-langkah dimulai dari pengamatan data dan lapangan, pengambilan sampel (Gambar. 3), pemeriksaan dan pengujian hingga pengolahan data agar diperoleh kesimpulan dari kegagalan tersebut (ASTM International G1-03, 2003). Pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan terhadap sampel ditunjukkan pada Tabel. 1

Keterangan:

1. Titik 6 pada daerah sambungan las antara sel pertama dan kedua.
2. Titik 4 pada daerah sambungan las antara sel keempat dan kelima.
3. Titik C pada daerah sambungan las antara sel keempat dan kelima.
4. Titik D pada daerah sambungan las antara sel keempat dan kelima.

Gambar. 3 Lokasi pengambilan sample pada tangki yang mengalami kebakaran

Tabel. 1 Pemeriksaan dan pengujian terhadap sampel dari tangki yang mengalami kebakaran

No.	Pengujian	Alat Uji	Tujuan
1.	Uji Komposisi Kimia	OES	Mengetahui karakteristik material dan kesesuaian dengan standar
	Uji Tarik	Mesin Uji Tarik	Mengetahui kesesuaian dengan standar
2.	Uji Nilai pH	Kertas Lakmus	Mengetahui lingkungan asam basa
3.	Uji Senyawa Kimia	XRD	Mengetahui adanya produk korosi
	Uji Unsur Kimia dan Fraktografi	SEM-EDS	Mengetahui adanya produk korosi dan penampakan mikro
4.	Uji Senyawa Kimia	XRD	Mengetahui adanya produk korosi
	Uji Unsur Kimia dan Fraktografi	SEM-EDS	Mengetahui adanya produk korosi dan penampakan mikro
5.	Uji Senyawa Kimia	XRD	Mengetahui adanya produk korosi
	Uji Unsur Kimia dan Fraktografi	SEM-EDS	Mengetahui adanya produk korosi dan penampakan mikro

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan data dan lapangan, ditemukan patahan getas dengan jelas terlihat penjalaran retakan pada dinding tangki yang mengalami kebocoran. Patah getas yang ditemukan menjalar sepanjang 9,81 m pada dinding tangki sel kedua. Pada lokasi penjalaran dilakukan pemeriksaan material tangki dengan alat NDT Ultrasonic dan Jangka Sorong diperoleh tebal sekitar retakan pada dinding sel kedua 10,5 mm, 10,37 mm, 11,80 mm, 11,30 mm, dan 11,40 mm (ASTM International E797/797M-21, 2021). Tebal sekitar retakan mengalami penurunan tebal dari dinding sel 2 yaitu 14,08 mm, 12,70 mm, dan 13,51 mm (Gambar. 4). Pengujian laboratorium untuk uji komposisi kimia menggunakan alat spektrometer (ASTM International E415-15, 2015). Diperoleh hasil pada tabel 2.

Gambar. 4 Pengukuran ketebalan pada patahan menggunakan alat NDT Ultrasonic.

Tabel 2. Hasil Uji Komposisi Kimia

No.	Unsur Kimia	Simbol	Kadar (%-wt)	
			Logam	Lasan
1.	Besi	Fe	98,3	80,2
2.	Karbon	C	0,155	0,414
3.	Silikon	Si	0,311	> 3,50
4.	Mangan	Mn	1,03	5,17
5.	Fosfor	P	0,0138	> 0,200
6.	Sulfur	S	0,0069	> 0,400
7.	Krom	Cr	0,0321	0,164
8.	Molibdenum	Mo	0,0030	1,58
9.	Nikel	Ni	0,0118	0,662
10.	Aluminium	Al	0,0604	0,0389
11.	Kobalt	Co	0,0019	< 0,0050
12.	Tembaga	Cu	0,0237	2,36
13.	Niobium	Nb	0,0029	0,0238
14.	Titanium	Ti	0,0021	0,0238
15.	Vanadium	V	0,0021	0,0320
16.	Tungsten	W	< 0,0050	0,459
17.	Timbal	Pb	0,0114	0,300
18.	Timah	Sn	0,0025	-
19.	Boron	B	0,0003	-
20.	Kalsium	Ca	0,0001	-
21.	Zirkon	Zr	0,0027	-
22.	Seng	Zn	0,0062	-
23.	Bismut	Bi	< 0,0010	-
24.	Arsen	As	0,0028	-
25.	Nitrogen	N	< 0,0020	-
26.	Selenium	Se	0,0039	-
27.	Strontium	Sb	0,0063	-
28.	Tantalum	Ta	< 0,0050	-

Berdasarkan hasil pemeriksaan komposisi kimia dengan menggunakan alat khusus OES pada Tabel. 2 diperoleh kadar karbon pada sampel logam dasar di bawah 0,27%, fosfor di bawah 0,030%, sulfur di bawah 0,030%, silikon di antara 0,15% dan 0,40%, dan mangan di antara 0,85% dan 1,20% yang masih **memenuhi spesifikasi** ASTM A573/ A573M – 13 tentang *Standard Specification for Structural Carbon Steel Plates of Improved Toughness* sehingga dinding tangki sesuai spesifikasi teknisnya yaitu ASTM A573 Gr 70 (ASTM International A573/A573M-13, 2013). Berdasarkan Tabel 1, sampel logam dasar dan lasan mengandung unsur krom (Cr) yang rendah yaitu 0,0321% dan 0,164% yang berarti terhadap korosinya rendah sehingga **rentan terhadap korosi pada lingkungan asam** (L N Komariah et al, 2019). Selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan tarik pada sampel sesuai standar ASTM E8, menghasilkan data sifat mekanik (ASTM International E8/E8M-16a, 2016). Diperoleh hasil pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kekuatan

No.	Nilai Kekuatan Luluh (MPa)	Nilai Kekuatan Tarik (MPa)	Nilai Elongasi (%)
1.	254	404	36
2.	247	408	32
3.	187	318	36
Rata-rata	229,3	376,7	34,7

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan menggunakan alat khusus Mesin Uji Tarik Universal pada Tabel 2 diperoleh nilai kekuatan luluh sebesar 229,3 MPa, kekuatan tarik sebesar 376,7 MPa, dan elongasi sebesar 34,7%. Nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik mengalami penurunan jika mengacu pada ASTM A573/A573M – 13 tentang *Standard Specification for Structural Carbon Steel Plates of Improved Toughness* dengan nilai kekuatan luluh sebesar 290 MPa dan kekuatan tarik sebesar 485-620 MPa (ASTM International A573/A573M-13, 2013), akan tetapi nilai elongasinya mengalami peningkatan dari yang seharusnya 18%. Hal ini membuktikan terjadinya perubahan sifat material dinding tangki akibat panas api kebakaran yang dapat mencapai suhu 1200°C. Pengujian senyawa kimia pada sampel dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*) diperoleh hasil pada table 4.

Tabel 4. Hasil Uji Senyawa Kimia

No.	Q3		Q4		Q5	
	Senyawa Kimia	Kadar (%-wt)	Senyawa Kimia	Kadar (%-wt)	Senyawa Kimia	Kadar (%-wt)
1.	Vertumnite ($H_{31,584}Al_{4,23}Ca_0,31O_{31,92}Si_{2,89}$)	67,8	Braunite 1Q ($Mn_7O_{12}Si$)	32,3	Pyrrhotite 3T (Fe_7S_8)	16,5
2.	Ferropicrlase ($Fe_{0,2}Mg_{0,8}O$)	32,2	Magnesioferrite (Fe_2MgO_4)	0,9	Pyrite (FeS_2)	52,8
3.	-	-	Perovskite (CaO_3Ti)	66,8	Alabandite (MnS)	27,4
4.	-	-	-	-	Troilite(FeS)	3,3

Berdasarkan pengujian senyawa kimia menggunakan alat khusus XRD pada Tabel. 4 menunjukkan adanya **produk korosi FeS_2 sebesar 52,8%, FeS sebesar 3,3%, dan MnS sebesar 27,4%**. Hal ini membuktikan korosi telah terjadi pada daerah tersebut dengan ditemukannya produk korosi sesuai dengan mekanisme reaksi korosi yang terjadi (Sari, 2015; L N Komariah et al, 2019). Selanjutnya berdasarkan pengamatan mikro pada sampel dengan menggunakan alat SEM/*Scanning Electron Microscope* (ASTM International F1372-93, 1993), serta pengujian unsur kimia dengan alat EDS/*Energy Dispersive Spectrometer* (ASTM International E1508-12a, 2012) diperoleh hasil analisis pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Lokasi Daerah Sambungan Las antara Sel Keempat dan Kelima

<div style="text-align: center;"> Electron Image 9 </div>						
No.	Unsur Kimia	Simbol	Kadar (%-wt)			Rata-rata
			Spectrum 24	Spectrum 25	Spectrum 26	
1	Besi	Fe	73,50	56,00	45,90	58,47
2	Karbon	C	16,30	12,20	37,90	22,13
3	Silikon	Si	0,40	0,30	0,50	0,40
4	Oksigen	O	5,20	31,00	12,40	16,20
5	Aluminium	Al	4,50	0,00	0,00	1,50
6	Sulfur	S	0,20	0,10	0,20	0,17
7	Klori	Cl	0,00	0,20	1,50	0,57
8	Mangan	Mn	0,00	0,60	0,80	0,47
9	Kalium	K	0,00	0,00	0,20	0,07

<div style="text-align: center;"> Electron Image 10 </div>						
No.	Unsur Kimia	Simbol	Kadar (%-wt)			Rata-rata
			Spectrum 27	Spectrum 28	Spectrum 29	
1	Besi	Fe	55,10	3,00	67,70	41,93
2	Karbon	C	15,00	74,60	10,40	33,33
3	Silikon	Si	0,20	0,80	0,00	0,33
4	Oksigen	O	28,40	18,70	20,60	22,57
5	Aluminium	Al	0,00	0,60	0,00	0,20
6	Sulfur	S	0,00	0,70	0,00	0,23
7	Klori	Cl	0,00	0,50	0,00	0,17
8	Mangan	Mn	1,30	0,00	1,20	0,83
9	Kalium	K	0,00	0,10	0,00	0,03
10	Kalsium	Ca	0,00	1,80	0,00	0,60

No.	Unsur Kimia	Simbol	Kadar (%-wt)			Rata-rata
			Spectrum 30	Spectrum 31	Spectrum 32	
1	Besi	Fe	0,50	50,20	95,30	48,67
2	Karbon	C	79,80	16,70	1,00	32,50
3	Silikon	Si	0,20	0,00	0,10	0,10
4	Oksigen	O	17,20	30,30	1,20	16,23
5	Sulfur	S	0,60	0,00	0,00	0,20
6	Klori	Cl	0,50	0,00	0,00	0,17
7	Mangan	Mn	0,00	2,80	2,50	1,77
8	Kalium	K	0,30	0,00	0,00	0,10
9	Kalsium	Ca	0,60	0,00	0,00	0,20
10	Natrium	Na	0,30	0,00	0,00	0,10

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 5 kegagalan yang terjadi pada tangki blending tersebut diperkuat dengan data hasil pemeriksaan unsur kimia dengan menggunakan alat khusus SEM diperoleh adanya **unsur sulfur (S)** pada semua sampel patahan daerah HAZ (daerah sambungan las dan logam dasar) yang dibuktikan dengan penampakan fraktografi secara mikro pada perbesaran 50x, 150x daerah patahan yang berupa **butiran titik putih** menandakan adanya korosi merata pada sampel lokasi daerah sambungan las antara sel keempat dan kelima. Selanjutnya berdasarkan uji nilai pH pada sampel dengan menggunakan kertas lakmus diperoleh hasil pada gambar 5.

Gambar 5. Hasil Uji pH

Berdasarkan pengujian tingkat keasamaan pada sampel fluida pada tangki yang mengalami kebocoran dengan kertas lakmus diperoleh nilai pH sebesar 5 yang berarti fluida pada tangki yang mengalami kebocoran tergolong asam sehingga di dalam tangki **terbentuk lingkungan asam** yang dapat berinteraksi dengan dinding tangki baik pada daerah logam dasar lasan yang rentan terhadap korosi (Sari, 2015; L N Komariah *et al*, 2019).

Berdasarkan analisis data hasil pemeriksaan dan pengujian laboratorium, diperoleh potensi

terjadinya korosi pada dinding tangki karena material dinding tangki yang bersifat kurang tahan terhadap serangan korosi dan bersinggungan langsung dengan fluida yang bersifat asam sehingga terbentuk lingkungan asam. Hal ini harus diperkuat dengan adanya produk korosi yang diuji lebih lanjut dengan alat XRD dan SEM EDS. Selain itu, terlihat pada Tabel 2, sampel lokasi daerah sambungan las antara sel pertama dan kedua lasan mengandung unsur sulfur yang jika bereaksi terus menerus dengan fluida hidrokarbon akan terbentuk hidrogen sulfida (H_2S). Hidrogen sulfida inilah yang akan menginisiasi terjadinya jenis korosi *Sulfide Stress Corrosion Cracking* (SSCC) dengan mekanisme reaksi sebagai berikut : $H_2S + Fe \rightarrow FeS + 2H$. Selain FeS , FeS_2 dapat juga terbentuk jika nilai pH di antara 3 dan 4 ditambah dengan terbentuknya inklusi MnS akibat adanya presipitasi hidrogen (Sari, 2015).

Pada dasarnya fluida yang terdapat di dalam tangki yang mengalami kebocoran bersifat asam karena nilai pH sebesar 5 sehingga menghasilkan lingkungan yang korosif, ditambah dengan adanya unsur sulfur (S) yang jika bereaksi dengan dinding yang bersifat kurang tahan terhadap korosi karena rendahnya kandungan krom (Cr) serta mayoritas dinding tangki mengandung besi (Fe) akan terbentuk produk korosi berupa senyawa FeS , MnS , dan FeS_2 bersifat korosif sesuai dengan mekanisme reaksi korosi yang dibuktikan dengan hasil uji XRD pada Tabel. 3 dengan ditemukannya senyawa FeS , MnS , dan FeS_2 , hasil uji SEM-EDS dengan ditemukannya unsur sulfur (S), dan penampakan fraktografi secara mikro yang menunjukkan adanya butiran titik putih tanda korosi merata pada daerah HAZ.

Penutup

Berdasarkan hasil pengamatan, pemeriksaan dan pengujian yang telah dilakukan serta analisa kegagalan metoda fishbone, maka dapat disimpulkan bahwa Kebocoran tangki yang menjadi penyebab ledakan dan kebakaran adalah sebagai akibat bereaksinya dinding tangki pada daerah sambungan las dengan logam dasar (HAZ) yang bersifat rentan terhadap korosi dengan fluida isi tangki yang bersifat asam (pH-5) sehingga membentuk lingkungan di dalam tangki yang bersifat asam dan korosif dengan terbentuknya H_2S sebagai inisiator korosi, diperkuat dengan ditemukannya produk korosi berupa senyawa MnS , FeS_2 , dan FeS , unsur (S), dan penampakan fraktografi berupa titik-titik putih tanda korosi merata jika terjadi dalam waktu yang lama dapat mengikis dinding tangki dan terbentuk lubang kebocoran. Untuk mencegah terulangnya kembali kasus kecelakaan ini maka disarankan untuk selalu menjalankan prosedur maintenance serta workplace berupa monitoring & measurements.

Daftar Pustaka

- ASTM International, (1993), *Standard Test Method for Scanning Electron Microscope (SEM) Analysis of Metallic Surface Condition for Gas Distribution System Components F1372 – 93*, ASTM International.
- ASTM International, (2003), *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens G1 – 03*, ASTM International.
- ASTM International, (2012), *Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy E1508 – 12a*, ASTM International.
- ASTM International, (2013), *Standard Specification for Structural Carbon Steel Plates of Improved Toughness A573/A573M – 13*, ASTM International.
- ASTM International, (2015), *Standard Test Methods for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry E415 – 15*, ASTM International.

- ASTM International, (2016), *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E8/E8M – 16a*, ASTM International.
- ASTM International, (2021), *Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method E797/797M – 21*, ASTM International.
- James I. Chang, Cheng-Chung Lin, (2006), A study of storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 19, Issue 1, Pages 51-59, ISSN 0950-4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>.
- L N Komariah et al, (2019), *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **543** 012033
- Sari, Y Dwiwati, S.T., (2015), *Korosi H₂S dan CO₂ pada Peralatan Statik di Industri Minyak dan Gas*, *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, UNJ Edisi terbit I-April 2015, Universitas Negeri Jakarta.