

**ANALISIS DAMPAK BENCANA KEBAKARAN TEMPAT  
PEMBUANGAN AKHIR (TPA) TAMANGAPA, MAKASSAR**

***ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE FIRE DISASTER OF A  
LANDFILL (TPA) TAMANGAPA, MAKASSAR***

**BILWALIDAYNI IKBAL**



**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2020**



**ANALISIS DAMPAK BENCANA KEBAKARAN TEMPAT  
PEMBUANGAN AKHIR (TPA) TAMANGAPA, MAKASSAR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Ilmu Biomedik

Disusun dan diajukan oleh

**BILWALIDAYNI IKBAL**

kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2020**



# TESIS

## ANALISIS DAMPAK BENCANA KEBAKARAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) TAMANGAPA, MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

**BILWALIDAYNI IKBAL**

**Nomor Pokok P062172011**

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis  
pada tanggal 14 Agustus 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

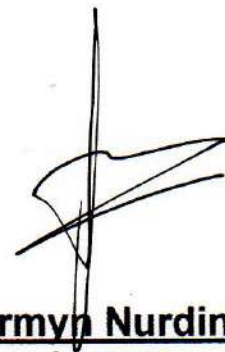
Menyetujui

Komisi Penasihat,



dr. Cahyono Kaelan, Sp. PA., Ph.D.

Ketua



Dr. dr. Armyn Nurdin, M. Kes.

Anggota

Ketua Program Studi  
Farmasi Medik,



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

Dr. dr. Ika Yustisia, M. Sc.

Dekan Sekolah Pascasarjana  
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M. Sc.

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Bilwalidayni Ikbal  
Nomor Mahasiswa : P062172011  
Program Studi : Ilmu Biomedik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 14 Agustus 2020

Yang menyatakan



Bilwalidayni Ikbal





## PRAKATA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT. atas segala limpahan rahmat serta karunia-Nya, sehingga tesis yang berjudul “**Analisis Dampak Bencana Kebakaran Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa, Makassar**” dapat diselesaikan dengan baik sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan studi S2 Magister Ilmu Biomedik/*Emergency and Disaster Management* Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam, penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW., yang telah mengantarkan kita dari alam kegelapan menuju alam terang benderang seperti sekarang ini.

Penulis menyadari berbagai kesulitan dan hambatan yang penulis dapatkan dalam penyusunan tesis ini, namun berkat ketekunan, kemauan, keuletan, usaha, do’a dan dukungan dari orang-orang yang selalu memberikan masukan dan saran serta semangat yang tidak ada henti-hentinya kepada penulis.

Pada kesempatan ini, penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada **dr. Cahyono Kaelan, Ph. D., Sp. PA.** sebagai **Ketua Komisi Penasihat** dan **Dr. dr. Armyn Nurdin, M. Kes.** sebagai **Anggota Komisi**

at atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari bimbingan minat terhadap permasalahan penelitian ini sampai dengan n tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada kedua orang



tua penulis , Ayahanda **Muh. Ikbal Hasanuddin, S. H.** & Ibunda **Dra. Hj. Haryati Arief** atas kasih sayang, bimbingan, dukungan, motivasi serta doa serta restu yang menjadi pengiring jalan penulis hingga saat ini.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada **Anita, S. Kep.** dan **Ar. Megawahyuni, S. Kep., Ns.**, yang telah banyak membantu penulis dalam proses penelitian tesis ini. **Femi Marsya Andris, S. Kep., M. Biomed.** yang telah berjuang bersama penulis dalam menyelesaikan tugas akhir tesis di Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Teman-teman Ilmu Biomedik Pascasarjana angkatan 20172 khususnya Kak **dr. Andi Irhamnia Sakinah**, Kak **Yarwin Yari, S. Kep., Ns., M. Biomed.** dan Kak **Risno Bara Pratama, S. Kep., M. Biomed.** yang sudah banyak membantu sejak awal perkuliahan hingga saat ini. Sahabat penulis, **Ardina Tambung, S. P., Gr., Ahlan, S. Gz., Husnaeni Ramli, S. Kep., Ns., Agnes Rapi Pabumbun, S. Pd., dr. Suderi, S. Ked., Magfirah Maharani, S. Kep., Ns., Andi Kamariah Hayat, S. Kep., Ns., Wahdaniyah Eka Pratiwi Syahrim, S. Kep., Ns.** serta **Hardianti, S. Kep., Ns.** Ucapan terima kasih yang terakhir juga penulis sampaikan kepada mereka yang namanya tidak tercantum tetapi telah banyak membantu penulis.

Akhir kata, penulis menyampaikan banyak terima kasih. Semoga tesis ini dapat bermanfaat kedepannya dan semoga dapat menjadi acuan dalam

selanjutnya. Terima kasih. Wassalamualaikum wr. wb.

Makassar, 14 Agustus 2020

Bilwalidayni Ikbal



## ABSTRAK

**BILWALIDAYNI IKBAL.** *Analisis Dampak Bencana Kebakaran Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa, Makassar* (dibimbing oleh Cahyono Kaelan dan Armyn Nurdin).

Penelitian ini bertujuan menganalisis (1) dampak kesehatan yang dapat timbul dari bencana kebakaran tempat pembuangan akhir (TPA) Tamangapa, Makassar; (2) dampak lingkungan yang dapat timbul dari bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar; dan (3) dampak sosial yang dapat timbul dari bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar.

Penelitian ini berjenis penelitian kualitatif dengan menggunakan pendekatan fenomenologis deskriptif. Peneliti berperan sebagai instrument penelitian dan instrument lain sifatnya hanya mendukung peneliti. Sampel penelitian adalah masyarakat yang tinggal di sekitar wilayah TPA yang terkena dampak bencana kebakaran TPA Tamangapa pada tanggal 15 September 2019. Data diperoleh melalui wawancara mendalam dengan 21 orang yang terdiri dari 7 orang yang tinggal di jarak  $\leq 500$  meter dari TPA Tamangappa, 7 orang yang tinggal di jarak  $>500 - \leq 1$  km meter dari TPA Tamangappa, dan 7 orang yang tinggal di wilayah  $>1$  km -  $\leq 2$  km dari TPA Tamangappa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) dampak kesehatan yang dirasakan masyarakat adalah batuk, sesak napas, pusing, sakit kepala, dan mata perih; (2) dampak lingkungan yang dirasakan oleh masyarakat adalah adanya asap, kabut asap, dan bau busuk; dan (3) dampak sosial yang dirasakan oleh masyarakat adalah penghasilan berkurang dan sekolah yang diliburkan. Bencana Kebakaran TPA mengakibatkan kerusakan lingkungan yang juga berdampak terhadap kesehatan dan sosial, khususnya di masyarakat yang bertempat tinggal di jarak  $\leq 500$  m dari TPA mengalami dampak terberat.

Kata kunci: dampak, kebakaran TPA, kesehatan, lingkungan sosial



## ABSTRACT

**BILWALIDAYNI IKBAL.** *Analysis of The Impact of The Fire Disaster of A Tamangapa Landfill, Makassar* (Supervised by **Caehyono Kaelan** and **Armyn Nurdin**)

This study aims to analyze (1) the health impacts that can arise from the Tamangapa landfill fire disaster, Makassar; (2) the environmental impacts that can arise from the Tamangapa Landfill fire disaster, Makassar; and (3) the social impacts that can arise from the Tamangapa landfill fire disaster, Makassar.

This research was a type of qualitative research using a descriptive phenomenological approach. The researcher acted as a research instrument and other instruments only support the researcher. The sample in this study was the community in the Tamangapa landfill area affected by the landfill fire disaster on 15 September 2019. The analysis was based on informants' answers when the researcher conducted in-dept interviews with 21 communities which consist of 7 communities living at a distance of  $\leq 500$  meters from the Tamangapa landfill, 7 people living at a distance of  $> 500$  meters -  $\leq 1$  km from the Tamangapa landfill, and 7 communities living in the region  $> 1$  km - 2 km from the Tamangapa landfill.

The results show that it is found that the health effects the community felt are coughing, shortness of breath, dizziness, headaches, and sore eyes. The environmental impact felt by the community is the presence of smoke, smog and foul odors. The social impacts felt by the community are reduced income and closed schools. The landfill fire disaster results in environmental damage which is also affected by health and social issues, especially for people who live within a distance of 500 m from the landfill, experience the most severe impacts.

Keywords: Environment, Health, Impact, Landfill Fire, Social





## DAFTAR ISI

	halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b>	ii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b>	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b>	iv
<b>PRAKATA</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>DAFTAR ISI</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xiv
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Teori Kebakaran TPA	6
B. Tipe Kebakaran TPA	8
<i>Shallow hot spot</i>	9
<i>Deep hot spot</i>	10
Peyebab Kebakaran TPA	11



D. Klasifikasi Kebakaran TPA	14
E. Teknik Pemadaman Kebakaran TPA	15
F. Dampak Kebakaran TPA	18
1. Dampak Kesehatan Terhadap Kebakaran TPA	18
a. <i>Persistent Organic Pollutants</i> (POPs)	20
b. Logam Berat	22
c. <i>Volatile Organic Compounds</i> (VOCs)	23
d. <i>Polynuclear Aromatic Hydrocarbons</i> (PAHs)	24
e. Hidrogen Sulfida	27
f. <i>Particulate</i>	29
g. Bau	34
h. <i>Leachate</i>	35
i. Biogas	36
2. Dampak Lingkungan Terhadap Kebakaran TPA	39
a. Polusi Udara dan Efek Atmosfer	45
b. Polusi Air Tanah	46
c. Polusi Lahan dan Tanah	46
d. Biaya Ekonomi	47
e. Kebakaran TPA	47
f. Kerusakan Vegetasi	48
g. Bau yang Tidak Menyenangkan	49
3. Dampak Sosial Terhadap Kebakaran TPA	49
G. Upaya Pencegahan Kebakaran TPA	51
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	54
A. Pendekatan dan Jenis Penelitian	54
Manajemen Peran Peneliti	54
Metode Penelitian	54
Kelembagaan	54



E. Tempat Penelitian	55
F. Sumber Data	56
G. Teknik Pengumpulan Data	56
H. Instrumen Penelitian	57
I. Teknik Analisis Data	57
J. Pengujian Keabsahan Data	57
K. Etika Penelitian	59
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>60</b>
A. Hasil Penelitian	60
1. Karakteristik Informan	60
2. Hasil Penelitian Tahap Kualitatif	62
B. Pembahasan	65
1. Dampak Lingkungan	66
2. Dampak Kesehatan	75
3. Dampak Sosial	85
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>89</b>
A. Kesimpulan	89
B. Saran	90
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>CURICULUM VITAE</b>	



## DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Teknik Pemadaman Kebakaran TPA	17
2. Karakteristik Informan yang Tinggal di Jarak $\leq$ 500 meter	61
3. Karakteristik Informan yang Tinggal di Jarak $<$ 500 meter - $\leq$ 1 kilometer	62
4. Karakteristik Informan yang Tinggal di Jarak $<$ 1 kilometer - $\leq$ 2 kilometer	62
5. Dampak kesehatan pada bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar	63
6. Dampak kesehatan pada anak di bawah umur 5 tahun pada bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar	63
7. Dampak lingkungan pada bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar	64
8. Dampak sosial pada bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar	64





## DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Peta Kawasan TPA Tamangapa, Makassar	55



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
1. Lembar Penjelasan Kepada Calon Subjek Penelitian	92
2. Surat Pernyataan Bersedia Berpartisipasi Sebagai Subjek Penelitian ( <i>Informed Consent</i> )	93
3. Pedoman Wawancara Analisis Dampak Bencana Kebakaran di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa, Makassar	94
4. Verbatim Hasil Wawancara dengan Informan	96
5. Dokumentasi Penelitian	127
6. Curriculum Vitae	129



## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
CDD	<i>Chlorinated Dibenzo-p-Dioxin</i>
CDF	<i>Chlorinated DibenzoFuran</i>
CH <sub>4</sub>	Metana
CO	Karbon Monoksida
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida
dll	dan lain-lain
EPA	Environmental Protection Agency
<i>e-waste</i>	Limbah elektronik/peralatan elektronik/listrik yang sudah tidak terpakai
H <sub>2</sub>	Hidrogen
H <sub>2</sub> O	Air
H <sub>2</sub> S	Hidrogen Sulfida
Hb	Hemoglobin
HbCO	Karboksihemoglobin
HM	<i>Heavy Metal</i>
<i>Leachate</i>	Lindi; suatu cairan yang dihasilkan dari pemaparan air hujan di timbunan sampah
	<i>Landfill Gas</i>
	Nitrogen



## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
O <sub>2</sub>	Oksigen
PAHs	<i>Polynuclear Aromatic Hydrocarbons</i>
PCB	<i>Poly Chlorinated Biphenyl</i>
PCDD	<i>Polychlorinated dibenzo-p-dioksin/Dioxin</i>
PCDF	<i>Polychlorinated dibenzofuran/Furan</i>
pH	<i>Power of Hydrogen/Derajat Keasamaan</i>
PM	<i>Particulate Matter</i>
PM 10 $\mu$ m	Partikulat dengan ukuran lebih kecil dari 10 mikron
PM 2,5 $\mu$ m	Partikulat dengan ukuran 2,5 mikron atau lebih kecil
POPs	<i>Persistent Organic Pollutants</i> , Polutan Organik Persisten
ppm	<i>Parts per Million</i> , Bagian per sejuta
SO <sub>2</sub>	Belerang Dioksida
SPM	<i>Suspended Particulate Matter</i>
TCDD	2,3,7,8- <i>tetrachlorodibenzo-p-dioxin</i>
TCE	<i>Trichloroethylene</i>
TPA	Tempat Pembuangan Akhir <i>Volatile Organic Compounds</i> <i>World Health Organization</i>







# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kebakaran yang sering terjadi pada musim kemarau, tidak hanya mampu membakar lokasi pemukiman, pertokoan, pergudangan maupun kawasan hutan, tetapi juga dapat membakar kawasan tempat pembuangan akhir sampah (TPA). Setiap tahunnya, kebakaran TPA yang terjadi di Amerika Serikat cukup intens yaitu sebanyak 8.300 kali (Copping et al., 2007). Kebakaran TPA di Amerika Serikat, sebagian besar terjadi pada musim semi dan musim panas (U.S. Fire Administration, 2001). Kebakaran TPA pernah terjadi Dallas, Texas, pada Agustus 2000 dimana kejadian ini terjadi secara spontan. Tumpukan sampah itu terus membara hingga Juli 2001 (Moqbel, 2009). Selain itu, kebakaran TPA juga terjadi di Vancouver, Kanada pada 18 Oktober 2000. Hal ini diketahui karena ditemukan asap yang keluar pada TPA (Moqbel, 2009).

Sejak tahun 1995 sampai 1999 didapatkan bahwa terdapat 10 lokasi TPA di wilayah Amerika Serikat, Mexico dan Kanada yang mengalami kebakaran. Kebakaran TPA yang terjadi berasal dari bawah tumpukan sampah (Moqbel, 2009; U.S. Fire Administration, 2001; Tridata Corporation,

kejadian kebakaran pada TPA, tidak hanya terjadi di negara-negara Amerika, negara-negara di benua Eropa juga mengalami kejadian



bencana kebakaran TPA. Pada tahun 1994, dilaporkan kejadian kebakaran 200 sampai 250 TPA di Swedia. Antara tahun 1990-1992, rata-rata kejadian kebakaran di Finlandia, sebanyak 380 kejadian kebakaran TPA di 633 TPA di Finlandia (Ettala et al., 1996). Kebakaran TPA di Inggris pada tahun 2007 terjadi sebanyak 78 (Copping et al, 2007). Jumlah kebakaran TPA di Nisava, Serbia dari tahun 2009-2016 berjumlah 576 kejadian (Milosevic, et. al., 2018). Kebakaran TPA yang terjadi di Ghana umumnya terjadi di TPA Aboboki dan Nkanfoa (Kusi, et.al. 2016). Peristiwa kebakaran TPA di benua Australia, di bagian New South Wales dilaporkan sebanyak 197 kejadian kebakaran sejak awal tahun 2014 sampai April 2016 (Fattal, et.al, 2016).

Data tentang kejadian kebakaran TPA di Indonesia belum teridentifikasi dengan jelas, baik itu dari frekuensi kejadiannya, tipe kebakaran, penyebab kebakaran, maupun dampak yang ditimbulkan akibat adanya kebakaran TPA (Wahyono, 2015). Hal ini berakibat, sulitnya mencari tahu informasi ilmiah tentang kebakaran TPA yang ada di Indonesia. Sehingga, data dan informasi mengenai kebakaran TPA di Indonesia didapatkan dari hasil penelusuran melalui portal berita media online. Hasil penelusuran yang didapatkan dalam rentan waktu tahun 2004-2019, kejadian bencana kebakaran TPA di Indonesia yaitu sebanyak 37 kejadian di 25 TPA yang berada di wilayah Indonesia. Hal ini didasarkan pada penelusuran di media berita online, kebakaran TPA yang diberitakan hanya kejadian kebakaran

TPA (Antara Jawa Timur; Antara Lampung; Antara News; Antara Banyumas News; Elshinta; Kompas; Liputan 6; Malang Times;



Media Pelangi; Metro Bali; Metro Semarang; Nusa Bali; Pikiran Rakyat; Republika; RMOL Banten; Sindo News; Solo Pos; Suara Merdeka; Tempo; Tribun Aceh; Tribun Batam; Wahyono, 2015; Waste 4 Change).

Salah satu dari 25 TPA yang mengalami kejadian kebakaran yaitu TPA Tamangapa yang berada di kota Makassar. TPA Tamangapa yang menampung sampah warga kota Makassar sudah mengalami kejadian kebakaran sebanyak 4 kali yaitu pada tanggal 29 Juni 2009, 03 Oktober 2014 (Antara Sulsel; Rahim, 2018; Rakyatku News), 10 Oktober 2018 dan yang terakhir pada tanggal 15 September 2019. Kejadian kebakaran di TPA Tamangapa sering terjadi di musim kemarau, dimana pada musim tersebut cuaca dalam kondisi panas. Sehingga, mengakibatkan adanya percikan api dari tumpukan sampah paling bawah. Kejadian kebakaran yang terjadi di TPA Tamangapa pada 15 September 2019 memberikan dampak dengan adanya muncul kabut asap di kota Makassar selama 4 hari. Sehingga, mengakibatkan terjadinya pengurangan jarak pandang penglihatan masyarakat.

Mengingat minimnya informasi terkait kejadian bencana kebakaran TPA ke masyarakat Indonesia. Sehingga perlu dilakukan kajian terhadap bencana kebakaran TPA di Indonesia, terutama dari segi dampak yang ditimbulkan akibat adanya bencana kebakaran TPA di Indonesia ini, tidak hanya dari dampak lingkungan, tetapi juga dampak dari segi kesehatan dan

Oleh sebab itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terkait





dengan “Analisis Dampak Bencana Kebakaran Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa, Makassar”.

## **B. Rumusan Masalah**

Bagaimana dampak bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar?

## **C. Tujuan Penelitian**

### **1. Tujuan Umum**

Menganalisis dampak terhadap bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar

### **2. Tujuan Khusus**

- a. Menganalisis dampak kesehatan yang dapat timbul dari bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar
- b. Menganalisis dampak lingkungan yang dapat timbul dari bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar
- c. Menganalisis dampak sosial yang dapat timbul dari bencana kebakaran TPA Tamangapa, Makassar

## **D. Manfaat Penelitian**

### **1. Bagi Institusi**

Sebagai referensi perpustakaan institusi dan merupakan masukan bagi mahasiswa yang sedang mempelajari bencana kebakaran TPA sehingga dijadikan sebagai sumber kualitatif dalam penelitian yang relevan.



Serta dapat menambah pengetahuan di bidang Ilmu *Emergency and Disaster Management*.

## **2. Bagi Peneliti**

Hasil penelitian ini merupakan sumber data dan informasi baru bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dampak dari bencana kebakaran TPA.

## **3. Bagi Masyarakat**

Untuk menambah wawasan dan bahan masukan bagi masyarakat tentang dampak bencana kebakaran TPA.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Teori Kebakaran TPA

Kebakaran merupakan reaksi oksidasi kimiawi yang menghasilkan energi dalam bentuk radiasi panas (temperatur yang meningkat) dan radiasi optik (cahaya yang terlihat atau tidak terlihat). Reaksi oksidasi pada material sampah di TPA dapat terjadi secara perlahan atau cepat menghasilkan temperatur tinggi. Jika peningkatan temperatur tidak disertai nyala api, kejadian tersebut disebut *hot spot* atau *heating incident* atau *Rapid Oxidation Subsurface Events* (ROSE) (Copping et al, 2007). Kejadian tersebut umumnya terjadi pada lapisan dalam TPA.

Sementara itu, jika reaksi oksidasi tersebut terjadi di permukaan TPA biasanya diikuti dengan timbulnya api karena ketersediaan oksigen yang berlimpah. Kejadian tersebut disebut kebakaran atau *fire*. Sama seperti kejadian kebakaran lainnya, reaksi oksidasi tersebut melibatkan tiga hal pokok yaitu panas, bahan bakar dan faktor pendukung (Copping et al, 2007). Pada kebakaran TPA yang disebut bahan bakar adalah material sampah dan faktor pendukungnya adalah oksigen yang terkandung dalam udara. Ketiga faktor tersebut harus hadir pada saat yang sama pada saat

an. Sampah di TPA, baik itu sampah domestik atau sampah al adalah bahan bakar potensial. Gas yang diproduksi secara alami



di TPA seperti gas metan dan hidrogen, juga merupakan bahan bakar potensial. Material sampah yang membara atau terbakar harus porus sehingga memungkinkan udara masuk ke dalamnya. Material sampah juga harus membentuk arang karbon ketika menjalani dekomposisi termal. Proses pembentukan arang pada kebakaran di lapisan dalam TPA (*hot spot*) biasanya terjadi akibat efek *selfheating* di mana terjadi isolasi panas. *Selfheating* dapat terjadi jika tingkat panas yang dihasilkan lebih besar dari tingkat panas yang hilang ke lingkungan (Copping et al, 2007).

Panas yang memicu *hot spot* dapat timbul karena proses dekomposisi material sampah dalam kondisi aerobik secara biologis dan proses kimia. Sedangkan pemicu kebakaran di permukaan TPA umumnya berupa panas dari material yang dibuang ke TPA (Copping et al, 2007). Penyebab utama *hot spot* adalah meningkatnya level oksigen di dalam TPA, yang mengakibatkan meningkatkan aktivitas bakteri aerobik, sehingga meningkat temperaturnya (80-90°C) dan memicu terbakarnya gas metan (Copping et al, 2007). Meningkatnya level oksigen di lapisan dalam TPA biasanya disebabkan oleh adanya udara yang masuk melalui permukaan atau lubang di permukaan TPA karena penyedotan gas TPA yang berlebihan atau karena porositas tumpukan sampah yang longgar akibat kurangnya proses pemadatan pada proses penimbunan sampah (Dueñas and Associates Project Team, 2005).

Adian *hot spot* sering ditandai dengan munculnya asap yang keluar dari permukaan TPA atau munculnya gas karbon monoksida



(CO) yang terbentuk karena ketersediaan oksigen rendah. Gas CO tidak berwarna, tidak berbau dan berkombinasi dengan gas CO<sub>2</sub> membentuk gas yang padat (Dueñas and Associates Project Team, 2005). Gas karbon monoksida merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna (Purwaningrum, 2016). Lain halnya dengan *hot spot*, kebakaran pada bagian permukaan TPA dapat dipicu karena api dari pembakaran kayu untuk memasak di TPA, puntung rokok yang dibuang sembarangan dan sebagainya terhadap sampah yang kering karena terekspos angin dan terik matahari.

Temperatur kebakaran permukaan TPA antara 80 – 230°C sedangkan temperatur *hot spot* antara 309 – 406°C (Bates, 2004). Kebakaran diikuti dengan bau yang bersifat iritan akibat terbentuknya asam-asam organik hasil pembakaran yang tidak sempurna. Temperatur yang meningkat dapat pula menguapkan kontaminan berbahaya seperti arsenik dari limbah kayu. Jika sampah yang terbakar mengandung material yang mudah terbakar seperti ban dan plastik, temperatur akan meningkat tinggi dan timbul asap hitam yang pekat. Pada kondisi tersebut akan teremisikan kontaminan yang bersifat karsinogen (Dueñas and Associates Project Team, 2005).

### **B. Tipe Kebakaran TPA**

Kebakaran TPA merupakan kebakaran yang unik karena sampah yang tidak hanya berada pada permukaan tetapi dapat juga terjadi pada bagian yang berada jauh di dalam gunung sampah. Kebakaran bagian TPA sering disebut sebagai *hot spot* karena terjadi panas pada



kedalaman tertentu tanpa diikuti oleh api yang berkobar (Wahyono, 2015).

Menurut Copping et. al (2007) kebakaran dibagi menjadi 2 kategori, yaitu :

### 1. *Shallow hot spot*

*Shallow hot spot* atau kebakaran yang terjadi kurang dari 5 meter dari permukaan limbah. Adapun karakteristiknya yaitu : (Copping, et. al., 2007)

- a. Limbah berada dalam jarak 5 m dari permukaan TPA.
- b. Limbah tersebut cenderung berusia relatif muda (kurang dari dua tahun)
- c. Adanya titik panas kemungkinan dapat disebabkan adanya percikan dari kendaraan yang ada di TPA.
- d. Limbah masih berada didalam fase aerobik degradasi
- e. *Shallow hot spot* dapat ditemukan ketika asap terlihat naik dari permukaan limbah atau terjadi penurunan yang cepat.
- f. Adanya sistem penahanan yang buruk, masuknya udara dapat terjadi sebagai akibat dari pengaktifan ekstraksi gas.
- g. Angin yang kencang dapat menyebabkan masuknya udara ke sisi-sisi limbah yang terpapar.

Karakteristik *shallow hot spot* mirip dengan karakteristik kebakaran bagian permukaan TPA yaitu umum terjadi pada area yang belum diberi lapisan tanah penutup. Sampah yang terbakar masih dalam fase aerobik dan memiliki temperatur tinggi serta terekspos pada sinar matahari ketika

ering. Bedanya dengan kebakaran permukaan, pada *shallow hot*



*spot* tidak sampai timbul nyala api, hanya titik panas yang ditandai dengan munculnya asap di permukaan sampah (Copping, et. al., 2007).

## 2. *Deep hot spot*

*Deep hot spot* atau kebakaran yang terjadi lebih dari 5 meter dari permukaan limbah. Titik panas ini cukup dalam untuk membuat pendinginan, pemadaman dan penggalian secara signifikan. Hal ini dapat lebih bermasalah dan mahal daripada untuk titik panas dangkal. Beberapa karakteristiknya yang umum sebagai berikut : (Copping, et. al., 2007)

- a. Limbah tersebut cenderung lebih tua dan berada dalam kondisi degradasi biologis dan kimiawi yang lebih maju daripada di *shallow hot spot*.
- b. Luas dan lokasi tepat *hot spot* lebih sulit ditentukan, karena kedalamannya.
- c. Titik panas lebih mungkin merupakan hasil dari proses yang terjadi dalam massa limbah daripada disebabkan oleh bahan panas yang ditempatkan pada saat penimbunan, meskipun dalam kasus-kasus tertentu ini mungkin masih memainkan peran penting dalam *hot spot* yang berada di dalam.
- d. Masuknya udara ke massa limbah kemungkinan merupakan hasil dari sistem ekstraksi gas aktif yang dikelola dengan buruk atau sistem sirkulasi ulang lindi yang dirancang dengan buruk.

mentara itu, *deep hot spot* terjadi pada lapisan sampah berumur tua dan degradasinya sudah anaerobik. Titik *hot spot* lebih sulit





ditentukan karena kedalamannya. Udara masuk ke dalam bagian dalam TPA karena kegiatan ekstraksi aktif gas TPA yang berlebihan atau resirkulasi lindi yang buruk (Copping, et. al., 2007).

Kebakaran pada permukaan TPA di Indonesia adalah yang paling umum terjadi. Sementara itu, kebakaran lapisan dalam TPA tidak ditemukan informasinya. Kemungkinan hal tersebut jarang terjadi karena walaupun musim kemarau, sampah bagian dalam TPA di Indonesia umumnya kadar airnya masih tinggi sehingga nilai kalornya rendah (Wahyono, 2015).

Kebakaran bagian dalam TPA menjadi masalah yang serius karena dapat membentuk lubang besar di kedalaman tertentu dari TPA yang tidak terlihat dari permukaan yang dapat mengakibatkan TPA retak atau ambles. Kebakaran bagian dalam juga merusak bagian instalasi dasar TPA seperti lapisan kedap air, pemipaan lindi dan pemipaan gas. Kebakaran bagian dalam TPA terjadi dalam kondisi kekurangan oksigen sehingga selain menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) juga gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ). Gas  $\text{CO}$  sifatnya tidak berwarna, tidak berbau, tetapi beracun (Wahyono, 2015).

### C. Penyebab Kebakaran TPA

Kebakaran mudah terjadi pada musim kemarau karena sampah domestik dan komersial yang menumpuk di TPA adalah bahan yang mudah

Sampah kota umumnya memiliki nilai kalor 10-17 GJ per ton. Gas yang diproduksi secara alami di TPA juga merupakan gas yang mudah terbakar. Karakteristik fisik tumpukan sampah juga porus karena



kurangnya pemadatan sampah sehingga udara leluasa masuk ke tumpukan sampah mensuplai kebutuhan oksigen ketika terjadi kebakaran. Ketersediaan bahan bakar (yakni sampah yang kering dan gas metana) dan ketersediaan oksigen, menjadikan sampah di TPA gampang dilalap api ketika terdapat pemicu yang menimbulkan panas. Berbagai kejadian, penyebab kebakaran bagian permukaan TPA dan *shallow hot spot* diduga karena beberapa hal seperti, kecerobohan orang di TPA, operasi penimbunan sampah, pengelolaan gas TPA yang kurang baik serta adanya kejadian spontan secara alami (Wahyono, 2015).

Bentuk kecerobohan penyebab kebakaran dapat berasal dari puntung rokok yang dibuang sembarangan di TPA seperti yang diduga sebagai penyebab kebakaran TPA Gunungtugel, Banyumas (pada Oktober 2012). Kecerobohan serupa diduga sebagai penyebab kebakaran TPA Benowo, Surabaya (pada Oktober 2012), bukan oleh puntung rokok, tetapi oleh letupan petasan yang disulut di TPA. Kebakaran dapat terjadi pula karena merembetnya api dari kegiatan menyalakan api, misalnya kegiatan memasak dengan kayu bakar di TPA. Hal ini terjadi pada kebakaran eks-TPA Keputih, Surabaya (pada Agustus 2011). Kegiatan tersebut membuat api merembet membakar TPA. Kegiatan membakar ban untuk mengambil kawat baja yang ada di dalamnya juga dapat mengakibatkan kebakaran seperti yang terjadi di Nigeria (Aderemi & Adebayo, 2012).

Salah satu bentuk kecerobohan lainnya berupa terbawanya bara api dari sumber ke TPA. Percikan api dari peralatan yang digunakan untuk operasi



penimbunan, perataan dan pemadatan sampah di TPA juga dapat menimbulkan kebakaran. Temperatur yang diperlukan untuk memicu munculnya api pada sampah organik antara 950°C – 205°C. Percikan api dapat pula berasal dari aktivitas pengelasan, penggunaan listrik dan benturan atau gesekan pipa besi (Wahyono, 2015).

Kebakaran juga dapat disebabkan oleh pengelolaan gas TPA yang kurang baik misalnya adanya percikan api dari gas yang keluar dari badan sampah, dari pipa ventilasi gas atau dari saluran pipa gas TPA yang bocor. Kebakaran TPA juga dapat disebabkan oleh efek pemfokusan sinar matahari oleh pecahan beling pada tumpukan sampah yang kering. Selain itu, kebakaran dapat pula terjadi secara spontan seperti yang terjadi di Delta Shake *Landfill* di British Columbia pada tahun 1999. Kebakaran spontan tersebut terjadi karena pemanasan material sampah oleh dekomposisi aerobik yang diikuti oleh proses pirolisis yang terjadi secara alami karena cuaca yang panas dan terik. Berbeda dengan penyebab kebakaran di permukaan TPA, penyebab utama kebakaran bagian dalam TPA adalah meningkatnya level oksigen di bagian dalam TPA, yang meningkatkan aktivitas bakteri aerobik, sehingga menyebabkan meningkatnya temperatur dan memicu terbakarnya gas metana didukung dengan ketersediaan oksigen yang cukup (Wahyono, 2015).

Meningkatnya ketersediaan oksigen di bagian dalam TPA biasanya

akan oleh adanya udara yang masuk melalui permukaan TPA karena  
titan gas TPA yang berlebihan atau karena porositas tumpukan



sampah yang longgar karena tidak dilakukannya pemadatan sampah. Panas pada bagian dalam TPA tidak bisa hilang dengan mudah, karena sifat isolasi dari massa sampah. Proses *selfheating* (pemanasan yang terjadi sendiri) dapat terjadi jika tingkat panas yang dihasilkan lebih besar dari tingkat panas yang hilang ke lingkungan. Tingkat *selfheating* berpengaruh penting dalam meluasnya *hot spot*. Jika panas terus berlanjut dan tidak ada kesempatan untuk proses pelepasan panas, *hot spot* dapat terjadi dalam jangka waktu yang panjang (Wahyono, 2015).

#### D. Klasifikasi Kebakaran TPA

Menurut ISWA (2010), kebakaran TPA dapat diklasifikasikan menjadi 4 level siaga, yaitu:

1. Siaga 1 : Kebakaran kecil terjadi pada peralatan di TPA seperti kendaraan, tong sampah, ruang kantor dan sebagainya. Kebakaran tidak terjadi pada tumpukan sampah di TPA, di tempat komposting dan tempat penyimpanan *recyclable* material.
2. Siaga 2 : Kebakaran kecil sampah yang dapat dilokalisir oleh pegawai TPA dalam waktu 24 jam dan dapat dipadamkan secara penuh dalam waktu 48 jam. Sampah yang terbakar jumlahnya lebih kecil dari 200 m<sup>3</sup>.
3. Siaga 3 : Kebakaran sedang (*medium*) TPA atau kebakaran besar di fasilitas komposting yang dapat dilokalisir dalam waktu kurang dari satu

an dan dapat dipadamkan secara penuh dalam waktu kurang dari  
pekan. Sampah yang terbakar jumlahnya antara 200 – 5.000 m<sup>3</sup>.



4. Siaga 4 : Kebakaran besar TPA atau kebakaran bagian dalam TPA yang memerlukan lebih dari 2 pekan untuk melokalisirnya. Sampah yang terbakar jumlahnya lebih dari 5.000 m<sup>3</sup>.

### **E. Teknik Pemadaman Kebakaran TPA**

Secara umum dalam memadamkan kebakaran TPA terdapat tiga faktor yang harus dikendalikan yaitu bahan bakar (sampah yang mudah terbakar), panas (api yang menyebabkan kebakaran) dan oksigen (udara yang masuk ke dalam tumpukan sampah). Mengendalikan faktor-faktor tersebut perlu pemahaman yang baik tentang karakteristik kebakaran sampah dan peralatan pemadam api yang memadai. Beberapa kejadian kebakaran TPA di Indonesia terkadang peralatan yang digunakan kurang memadai misalnya hanya menggunakan mobil tanki air penyiram tanaman atau pengangkut air bersih (Wahyono, 2015).

Air adalah pemadam api yang cukup efektif. Namun meskipun efektif, dalam proses menangani kebakaran TPA, perlu diperhatikan kecukupan volume air yang diperlukan dalam mendinginkan panas yang berasal dari kebakaran. Mendinginkan satu ton sampah yang terbakar diperlukan air sekitar 1000 galon (3-4 meter<sup>3</sup>) air. Adanya keterbatasan jumlah air proses pemadaman menjadi tidak efektif. Penggunaan air juga berdampak pada meningkatkan jumlah lindi yang diolah dalam instalasi pengolahan air lindi (Wahyono, 2015).

Untuk menangani kebakaran bagian permukaan TPA, penanganan dengan area dapat dilakukan. Hal ini sebagaimana yang dilakukan saat



kebakaran di TPA Bakung, Lampung pada september 2014. Pengurugan tanah di area yang terbakar cukup efektif untuk mematikan api dan mengendalikan kebakaran. Pengurugan seringkali dikombinasikan dengan penggunaan air secara bijaksana untuk menurunkan temperatur. Pengalaman menunjukkan bahwa penyemprotan air ke permukaan yang terbakar tidak hanya berkontribusi memadamkan api tetapi juga dapat mengefisienkan pendinginan temperatur (Wahyono, 2015).

Alternatif untuk memadamkan api adalah dengan mengekskavasi sampah yang terbakar. Hal ini dilakukan untuk kasus kebakaran permukaan dan alat berat dapat mengaksesnya. Sampah yang terbakar dipisahkan dengan alat berat dengan sampah lainnya sehingga api tidak merembet ke manamana dengan dibuatkan parit seperti yang dilakukan pada saat kebakaran TPA Putri Cempo, Solo (pada Juni 2012). Cara ini harus dilakukan hati-hati karena berisiko terhadap operator yang melaksanakannya (Wahyono, 2015).

Pada kebakaran yang terjadi pada lapisan dalam TPA, pemadaman dengan air mengalami kendala berupa inefisiensi air yang digunakan karena air yang disiramkan tidak serta merta menuju ke lokasi titik panas di dalam timbunan TPA. Injeksi air dengan cara mengebor bagian sampah menuju *hot spot* juga mengalami kendala berupa sulitnya mendapatkan peralatan bor dan mengandung risiko terdedahnya gas metana sehingga

memperbesar api atau menimbulkan ledakan. Penggalian bagian dalam untuk memudahkan penetrasi air juga tidak disarankan karena



akan meningkatkan intrusi udara yang akan memperbesar api (Wahyono, 2015).

Beberapa riset untuk memadamkan *hot spot* juga telah dilakukan. Uji coba antara lain dilakukan dengan menginjeksikan material inert dan tidak mudah terbakar seperti nitrogen untuk memperkecil api. Nitrogen dengan mudah dapat menurunkan temperatur dan menurunkan kadar oksigen. Selain injeksi nitrogen, juga muncul riset injeksi uap air yang melembabkan sampah sehingga menghambat kecepatan menjalarnya api. Riset lainnya yaitu injeksi dengan karbondioksida cair dan injeksi semen. Riset injeksi dengan karbondioksida cair dilaporkan berhasil dilakukan di sebuah TPA di Hawaii (Wahyono, 2015).

Tabel 1. Teknik pemadaman kebakaran TPA (Wahyono, 2015, hasil modifikasi dari Copping et. al {2007}).

Teknik Pemadaman	Kebakaran < 5 m	Kebakaran > 5 m	Faktor yang dikontrol
Penyiraman	Umum dilakukan, sering dikombinasikan dengan ekskavasi	Umum dilakukan dengan menginjeksi air ke dalam badan sampah. Memerlukan sampah yang tepat untuk mencapai titik api	Menghilangkan panas dan mereduksi oksigen
	Umum dilakukukan	Tidak umum karena letaknya dalam	Menghilangkan panas





Lanjutan Tabel 1.

Teknik Pemadaman	Kebakaran < 5 m	Kebakaran > 5 m	Faktor yang dikontrol
Penggalian parit di tepi lokasi terbakar Pengenangan (menggenangi bagian yang terbakar dengan lindi)	Kadang digunakan untuk mencegah migrasi api. Tidak umum dilakukan karena letaknya berada disekitar permukaan, tidak di dasar TPA.	Sulit dipraktekkan karena lokasi yang terbakar relatif dalam	Mereduksi oksigen, mencegah sampah disekitarnya terbakar. Menghilangkan panas dan mereduksi oksigen.
Injeksi gas inert	Potensi dilakukan tapi terbentur biaya yang mahal	Potensial jika lokasinya diketahui dengan pasti dan targetnya dapat mudah dijangkau oleh sistem injeksi	Menghilangkan gas dan mereduksi panas (tergantung dari gas yang dilakukan)
Injeksi karbon dioksida cair	Tidak ada laporannya	Dilakukan di Hawaii pada kedalaman 5-7 m	Menghilangkan oksigen dan panas
Injeksi cairan semen ( <i>grouting</i> )	Tidak biasa dilakukan, terbentur di masalah biaya	Data sedikit, tapi dilaporkan berhasil	Mengilangkan oksigen, mencegah sampah disekitarnya terbakar

## F. Dampak Kebakaran TPA

### 1. Dampak Kesehatan Terhadap Kebakaran TPA



beberapa studi populasi mendokumentasikan bahwa tempat  
ngan sampah memiliki dampak yang serius pada masalah  
an maupun kesejahteraan. Kebakaran TPA menghasilkan ratusan

senyawa berbahaya seperti karbon monoksida, formaldehid, nitrogen oksida, sulfur oksida serta senyawa bau yang sifatnya iritan, hasil dari pembakaran yang tidak sempurna (Wahyono, 2015). Formaldehid dapat memberikan dampak berupa mata berair, sensasi terbakar pada mata dan tenggorokan, mual, kesulitan bernapas, ruam kulit serta dapat menyebabkan kanker (Iswanto, dkk., 2016).

Selain itu, berbagai macam zat beracun dapat dilepaskan ke lingkungan dari limbah yang tidak terkontrol di pembuangan sampah seperti metana, karbon dioksida, benzena dan kadmium. Banyak dari polutan ini telah terbukti menjadi toksik atau racun bagi kesehatan manusia. *The International Agency for Research on Cancer*, mengklasifikasikan paparan dari kadmium dan benzena bersifat sangat karsinogenik bagi manusia. Selain itu, tempat pembuangan sampah cenderung mengandung senyawa yang sangat berbahaya yang berasal dari produksi industri, misalnya asbestos dan timah (ISWA, 2015).

Risiko dan dampak kesehatan dari TPA dikaitkan dengan beberapa polutan (atau zat berbahaya) yang ditemukan di aliran limbah atau dengan polutan yang dibuat di tempat pembuangan yang melalui interaksi fisik-kimia. Secara umum, polutan dapat berpindah melalui udara, tanah maupun air. Polutan ini juga dapat masuk melalui tanaman maupun hewan dan bisa masuk melalui udara, ke rantai makanan maupun di air. Ada berbagai cara

ng dapat bersentuhan dengan polutan yang disebut sebagai jalur



paparan. Ada 3 jalur paparan dasar yaitu inhalasi, makanan serta kontak kulit (ISWA, 2015).

Berdasarkan ISWA (2015) dalam *The Tragic Case of Dumpsites*, polutan utama yang terkait dengan risiko kesehatan yang ada di tempat pembuangan sampah sebagai berikut :

**a. *Persistent Organic Pollutants (POPs)***

*Persistent Organic Pollutants (POPs)* seperti *Polychlorinated dibenzo-p-dioksin (PCDD)* atau disebut sebagai dioksin dan *Polychlorinated dibenzofuran (PCDF)* atau disebut sebagai furan adalah senyawa organik non-biodegradable persisten yang dihasilkan dari pembakaran limbah yang tidak terkontrol, pembakitan gas metana alami dan pembakaran limbah suhu rendah untuk memulihkan logam (ISWA, 2015).

Dioksin merupakan kelompok zat-zat berbahaya yang termasuk ke dalam golongan senyawa *Chlorinated Dibenzo-p-Dioxin (CDD)*, *Chlorinated Dibenzo Furan (CDF)* dan *Poly Chlorinated Biphenyl (PCB)*. Terdapat ratusan senyawa yang termasuk dioksin, salah satunya adalah TCDD (*2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin*) yang dikenal paling. Dioksin berasal dari proses sintesis kimia pada proses pembakaran zat organik yang bercampur dengan unsur halogen pada temperatur tinggi. Dioksin berasal dari pembakaran limbah rumah tangga maupun industri yang mengandung senyawa klor seperti industri kimia, pestisida, plastik dan pulp kertas

o & Burhan, 2018).



Pembakaran karbon yang tidak sempurna menghasilkan karbon monoksida dan *partially oxidized hydrocarbons*. Adanya suhu tinggi menyebabkan sebagian kecil nitrogen akan teroksidasi menjadi nitrat oksidan dan nitrat dioksida. Dioksin merupakan zat kimia yang berbahaya yang dapat menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan masyarakat. Menurut Bates (2004) emisi gas yang paling berbahaya adalah dioksin. Dioksin terkait dengan berbagai gangguan kesehatan seperti kanker, menurunnya sistem kekebalan tubuh, adanya gangguan pada sistem reproduksi, dapat menyebabkan alergi serta asam (Bates, 2004). Selain itu, dioksin dapat menimbulkan gangguan hormonal, yang dapat masuk kedalam janin serta dapat terakumulasi pada tanaman, binatang maupun manusia (Iswanto, dkk., 2016).

Dampak keracunan dioksin untuk jangka panjang adalah kanker dan aterosklerosis sehingga menaikkan angka kematian sampai 46% pada beberapa kasus. Paparan dioxin tingkat tinggi dikaitkan dengan adanya kanker, kerusakan pada hati, serta gangguan pada reproduksi. Sedangkan efek jangka pendek, dapat menyebabkan lesi kulit seperti *chloracne*. *Chloracne* adalah penyakit kulit yang parah dengan lesi menyerupai acne yang terjadi terutama pada wajah dan tubuh bagian atas, serta ruam kulit lainnya, perubahan warna kulit dan kerusakan pada organ-organ tubuh lain, seperti hati, ginjal dan saluran cerna (Prabowo & Burhan, 2018).

ah mencatat, kasus dioxin yang paling terkenal adalah *Agent*  
yang terjadi di Vietnam saat Vietnam perang dengan Amerika



Serikat. Saat ini, setelah 4 dekade dampak dioxin masih dapat kita temukan. Banyak anak yang mengalami permasalahan tumbuh kembang. Misalnya pada gigi dan rambut. *Agent Orange* di Vietnam ini telah membunuh jutaan orang karena dioxin telah bercampur dengan tanah, mengendap di sungai-sungai sehingga tanaman dan air serta ikan yang mereka makan telah tercemar bahan kimia tersebut. Permasalahan yang terjadi di Vietnam akibat dari dioxin yang terkandung dalam *Agent Orange* adalah kelainan lahir bawaan pada bayi yang orang tuanya dulunya merupakan veteran Vietnam adalah kelainan pada otak, jantung, organ kelamin dan saluran kencing, serta bibir sumbing (*cleft palate*), *club foot*, *spina bifida*, kanker kongenital dan sindroma Down's (Prabowo & Burhan, 2018). POPs memicu respons biologis pada manusia yang menghasilkan masalah neurologis, imunologis dan reproduksi. POPs juga bertanggung jawab atas gangguan pernapasan maupun peningkatan risiko kanker (ISWA, 2015).

### **b. Logam Berat**

Logam berat dapat ditemukan di lindi tempat pembuangan, udara dan tanah yang dihasilkan dari pembakaran plastik atau peleburan logam bekas dan e-waste. Temperatur panas yang ditimbulkan dari kebakaran TPA dapat menguapkan berbagai macam kontaminan berbahaya. Seperti timbal, merkuri, kadmium dan arsenik adalah logam berat utama yang menyebabkan gangguan neurologis, anemia, gagal ginjal, immunosupresi,



iritasi gastrointestinal dan pernapasan, kelainan sistem tulang, radang hati, kanker hati, penyakit kardiovaskuler setelah paparan kronis (ISWA, 2015).

### **c. Volatile Organic Compounds (VOCs)**

*Volatile Organic Compounds (VOCs)* atau senyawa organik mudah menguap berbahaya bagi manusia dan juga berkontribusi terhadap polusi ozon di permukaan tanah, yang juga dikenal sebagai kabut asap. Mudahnya senyawa ini untuk menguap pada akhirnya akan menyebabkan lingkungan udara di sekitar bahan yang mengandung senyawa tersebut bersifat toksik karena senyawa VOCs memang memiliki sifat tersebut (Prabowo & Burhan, 2018). Dampaknya dapat menyebabkan iritasi mata, hidung dan tenggorokan, sakit kepala, kehilangan koordinasi, mual dan kerusakan pada hati, ginjal dan sistem saraf pusat (ISWA, 2015).

VOCs atau *Volatile Organic Compounds* adalah senyawa organik yang memiliki sifat mudah menguap. Mudahnya senyawa ini untuk menguap pada akhirnya akan menyebabkan lingkungan udara di sekitar bahan yang mengandung senyawa tersebut bersifat toksik karena senyawa VOCs memang memiliki sifat tersebut. Contoh senyawa VOCs adalah senyawa BTEX (*Benzena, Toulena, Etilbenzena* dan *Xyelena*). Salah satu akibat *Volatile Organic Compounds* adalah fenomena *sick building syndrome*. *Sick building syndrome* adalah fenomena yang terjadi dimana rumah bisa menyebabkan penghuninya terganggu karena paparan biologis dan kimia senyawa ini. Pada skala yang lebih luas, keberadaan VOCs bahkan



bisa menyebabkan ekosistem lingkungan terganggu dengan terbentuknya ozon (ISWA, 2015).

*Volatile Organic Compounds* (VOCs) didefinisikan sebagai semua kandungan komponen bahan kimia organik yang dapat menguap dan dapat mencemari udara, baik pada saat proses produksi, aplikasi sampai dengan barang jadi dan digunakan oleh *end user*. Bahan yang banyak mengandung VOCs *content* antara lain: *cat, coating, color, lem, plywood*, dll. Sedangkan produk akhir yang banyak mengandung VOCs dan dalam jangka panjang terus menerus mengeluarkan gas VOCs antara lain: *furniture*, properti, *acesories*, elektronik, bahkan rumah itu sendiri (ISWA, 2015).

#### **d. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs)**

*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs) atau dikenal sebagai *Poly-Aromatic Hydrocarbons* atau *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*, merupakan senyawa organik yang berpotensi menjadi pencemar di lingkungan baik di udara, air, sedimen maupun tanah. Senyawa ini dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dan atau proses tekanan tinggi (Ratnaningsih, dkk, 2014).

PAHs dengan kandungan dua sampai delapan cincin aromatik terdiri dari ratusan senyawa individual di lingkungan dan ada di tempat pembuangan sampah (ISWA, 2015). Namun hanya 16 senyawa yang termasuk dalam daftar pencemar prioritas oleh US-EPA (*United States-Environmental*

*on Agency*) yang umum dijadikan target dalam pemantauan dan yaitu *naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene*,





*phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo(a)pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthenedibenz(ah)anthracene, benzo(ghi) perylene dan indeno(1,2,3-cd)pyrene* (Cano, et. al., 2001).

PAHs sangat bervariasi dan memiliki sifat tidak mudah larut dalam air atau bersifat lipofilik sehingga mudah terakumulasi dalam jaringan lemak, sebagian mudah menguap di udara namun sebagian besar cenderung terserap di dalam bahan partikulat organik. PAHs yang lebih berat akan berasosiasi dengan bahan partikel di udara sehingga jatuhnya partikel partikel tersebut merupakan jalur terjadinya pencemaran. PAHs dengan cincin aromatik lebih besar atau sama dengan lima akan dominan berada di partikel halus ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) sedangkan PAHs dengan dua atau tiga cincin aromatik hampir keseluruhannya berada dalam fase uap dan PAHs dengan empat cincin aromatik berada pada posisi tengah fase gas dan partikel halus (ISWA, 2015).

Sebagai polutan, PAHs ini telah menjadi perhatian karena beberapa senyawa telah diidentifikasi sebagai karsinogenik, mutagenik dan teratogenik. Toksisitas PAHs secara struktural sangat tergantung dari isomernya, dengan formula dan jumlah cincin yang sama dapat bervariasi toksisitasnya. Salah satu senyawa PAHs yaitu *benzo(a)pyrene* merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik, menyebabkan gangguan pada kulit

dan hewan serta menyebabkan dampak berbahaya terhadap kesehatan manusia dan reproduksi. Manusia yang menghirup campuran PAHs



dalam periode waktu yang lama dapat terkena kanker. Beberapa PAHs dapat menyebabkan kanker pada binatang percobaan, jika menghirup udara tercemar PAHs maka akan mengalami kanker paru-paru, terkontaminasi PAHs lewat makanan terjadi kanker perut dan terpapar dikulit terjadi kanker kulit (ISWA, 2015).

Sumber pencemar PAHs di lingkungan ada dimana mana, selain berasal dari bahan bakar fosil dan biomasa, PAHs juga terbentuk dari hasil proses pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon seperti pembakaran kayu, batu bara, solar, aspal, lemak, tembakو dan dupa. Pembakaran dupa ditempat tempat ibadah, maupun dirumah beresiko terhadap kanker. PAHs juga berasal dari kebakaran hutan, asap rokok, proses pemasakan makanan dengan suhu tinggi seperti daging panggang, ikan asap. PAHs juga berada dalam minyak, batu bara dan timbunan tar (ISWA, 2015).

Senyawa PAHs di udara berpotensi untuk tersebar dan juga menjadi pencemar pada makhluk hidup melalui proses inhalasi. Paparan PAHs yang terjadi di daerah urban pada umumnya melalui aktifitas antropogenik seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran batu bara dan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik, penyulingan minyak bumi, pembakaran jerami dan kayu bakar, proses industri, manufaktur kimia, tumpahan minyak dan batu bara. Sumber pembakaran yang berbeda akan menghasilkan distribusi

al PAHs yang berbeda dimana isomer tersebut dihasilkan. Oleh itu pembakaran batu bara akan menghasilkan jenis pola PAHs yang



berbeda dengan pembakaran motor atau kebakaran hutan. Pada gas pembuangan kendaraan bermotor dapat menyebabkan kanker (Edyanto, 2013). Perbedaan komponen tersebut sangat berguna untuk indikator sejarah pembakaran yang terjadi.

#### e. Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ )

Hidrogen sulfida adalah gas tidak berwarna yang mudah terbakar dengan bau khas telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik) seperti di rawa dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam. Hidrogen sulfida juga dikenal dengan nama sulfana, sulfur hidrida, gas asam (*sour gas*), sulfurated hydrogen, asam hidrosulfurik dan gas limbah (*sewer gas*) (Prabowo & Burhan, 2018). Hidrogen sulfida diproduksi ditempat pembuangan ketika bahan yang mengandung sulfat (seperti gipsum dan eternit) dengan konsentrasi tinggi dicampur dengan limbah yang dapat terbiodegradasi. Komposisi bahan limbah dan praktik yang diikuti di lokasi akan menentukan jumlah  $H_2S$  yang diproduksi (ISWA, 2015).

Masuknya gas  $H_2S$  melalui saluran pernapasan dapat mengakibatkan ukuran partikel dari gas  $H_2S$  yang kecil sehingga dapat dengan mudah masuk kedalam saluran pernapasan, dikarenakan dapat diserap kedalam

Ketika seseorang bernapas, maka udara akan dihirup masuk paru-paru melalui saluran pernapasan. Jika udara yang dihirup ini



mengandung H<sub>2</sub>S pada konsentrasi kurang dari 100 ppm, bau telur busuk sudah dapat dideteksi. Apabila konsentrasi diatas 100 ppm, maka dapat melemahkan saraf penciuman, sehingga mengakibatkan kehilangan daya penciuman. Apabila menghirup H<sub>2</sub>S terlampau banyak, maka tubuh tidak dapat mengoksidasi seluruh gas ini, sehingga akan merambat dan berkembang didalam pembuluh darah dan akan menyebabkan keracunan (Salhah, 2015).

Keracunan ini dapat melumpuhkan saraf pusat di dalam otak yang mengontrol otot paru-paru sehingga mengakibatkan paru-paru kita berhenti bekerja. Tidak bekerjanya paru-paru seketika menyebabkan seseorang menjadi sesak napas. Selain itu, gas H<sub>2</sub>S dapat bercampur dengan air di paru-paru dan dapat membentuk "*weak acid*" atau zat asam lemah. Keberadaan zat asam lemah di dalam paru-paru dapat menyerang pembuluh darah, sehingga cairan dari pembuluh darah akan keluar dari pembuluh darah menuju ke dalam jaringan-jaringan sekelilingnya dan dapat menyebabkan terjadinya pembengkakan pada paru-paru. Sehingga dapat menyebabkan kesulitan bernapas. Sedangkan efek fisik gas H<sub>2</sub>S pada tingkat rendah dapat menyebabkan terjadinya gejala-gejala yaitu, mata seperti terbakar, sakit kepala atau pusing, badan terasa lesu, hilangnya kemampuan indera penciuman, rasa kering pada hidung, tenggorokan serta dada, batuk-batuk dan kulit terasa perih (Salhah, 2015).



an terhadap hidrogen sulfida dapat menimbulkan masalah an. Pada konsentrasi rendah, H<sub>2</sub>S dapat menyebabkan iritasi pada

selaput lendir mata dan saluran pernapasan (ISWA, 2015). Paparan dengan konsentrasi rendah bisa mengiritasi mata, hidung, tenggorokan dan sistem pernapasan (seperti mata perih dan terbakar, batuk dan sesak napas). Orang penderita asma bisa menjadi tambah berat penyakitnya. Efek ini bisa tidak secara langsung dan baru terasa beberapa jam atau hari kemudian. Paparan berulang ataupun jangka panjang dapat menimbulkan gejala mata merah, sakit kepala, *fatigue*, mudah marah, susah tidur, gangguan pencernaan dan penurunan berat badan (Prabowo & Burhan, 2018).

Pajanan pada konsentrasi sedang bisa menyebabkan iritasi mata dan pernapasan yang berat (batuk, susah bernapas, penumpukkan cairan di paru), sakit kepala, pusing, mual, muntah serta mudah marah (Prabowo & Burhan, 2018). Konsentrasi paparan tinggi menghasilkan depresi pada sistem saraf pusat, kehilangan kesadaran dan paralisis pernapasan (ISWA, 2015). Paparan pada konsentrasi tinggi akan menyebabkan syok, kejang, tidak bisa bernapas, tidak sadar, koma dan akhirnya kematian. Efek lethal tersebut bisa dalam beberapa hirupan ataupun hanya dalam satu hirupan (Prabowo & Burhan, 2018).

#### **f. *Particulate***

Particulate atau partikel adalah pencemar udara yang dapat berada bersama-sama dengan bahan atau bentuk pencemar lainnya. Partikel

partikel secara murni atau sempit sebagai bahan pencemar udara berbentuk padatan. Namun dalam pengertian yang lebih luas, dalam



kaitannya dengan masalah pencemaran lingkungan, pencemar partikel dapat meliputi berbagai macam bentuk, mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan bentuk yang rumit atau kompleks yang kesemuanya merupakan bentuk pencemaran udara. Sumber pencemaran partikel dapat berasal dari peristiwa alami dan dapat juga berasal dari aktivitas manusia. Pencemaran partikel yang berasal dari alam, adalah sebagai berikut, debu tanah/pasir halus yang terbang terbawa oleh angin kencang; abu dan bahan-bahan vulkanik yang terlempar ke duara akibat letusan gunung berapi; serta semburan uap air panas di sekitar daerah sumber panas bumi di daerah pegunungan (ISWA, 2015).

Sumber pencemaran partikel akibat aktivitas manusia sebagian besar berasal dari pembakaran batu bara, proses industri, kebakaran hutan dan gas buangan alat transportasi. Debu adalah zat padat yang dihasilkan oleh manusia atau alam dan merupakan hasil dari proses pemecahan suatu bahan. Debu adalah zat padat yang berukuran 0,1 – 25 mikron. Debu termasuk kedalam golongan partikulat. Yang dimaksud dengan partikulat adalah zat padat/cair yang halus dan tersuspensi diudara, misalnya embun, debu, asap, *fumes* dan *fog*. Partikel menyebar di atmosfer akibat dari berbagai proses alami, seperti letusan vulkano, hembusan debu serta tanah oleh angin. Aktifitas manusia juga berperan dalam penyebaran partikel, misal dalam bentuk partikel debu dan asbestos dari bahan bangunan, abu

dari proses peleburan baja dan asap dari proses pembakaran



tidak sempurna, terutama dari batu arang. Sumber partikel yang utama adalah pembakaran bahan bakar dari sumbernya (ISWA, 2015).

Partikel di atmosfer dalam bentuk suspensi, yang terdiri atas partikel-partikel padat cair. Ukuran partikel dari 100 mikron hingga kurang dari 0,01 mikron. Terdapat hubungan antara ukuran partikel polutan dengan sumbernya. Partikel sebagai pencemar udara mempunyai waktu hidup yaitu pada saat partikel masih melayang-layang sebagai pencemar di udara sebelum jatuh ke bumi. Waktu hidup partikel berkisar antara beberapa detik sampai beberapa bulan. Sedangkan kecepatan pengendapannya tergantung pada ukuran partikel, massa jenis partikel serta arah dan kecepatan angin yang bertiup (ISWA, 2015).

Partikel debu dapat dibagi atas 3 jenis, yaitu debu organik, debu mineral dan debu metal. Sumber debu bermacam-macam, tergantung jenis debunya. Partikel debu dipengaruhi oleh daya tarik bumi sehingga cenderung untuk mengendap di permukaan bumi. Partikel debu juga dapat membentuk "flok" sehingga ukurannya menjadi lebih besar permukaannya cenderung untuk basah. Sifat-sifat ini membuat ukurannya menjadi lebih besar sehingga memudahkan proses pengendapannya di permukaan bumi dengan bantuan gaya tarik bumi. Partikel debu dengan diameter 1 milimikron mempunyai kemampuan untuk menghamburkan sinar matahari (ISWA, 2015).

di udara oleh partikel berhubungan erat dengan  $\text{SO}_2$ . Partikel  $\text{SO}_2$  dari sumber yang sama yaitu pembakaran bahan bakar fosil yang





satu sama lain saling bereaksi secara sinergis dalam memberikan dampak terhadap kesehatan manusia. Benda partikel ini sering disebut sebagai asap atau jelaga, benda-benda partikulat ini sering merupakan pencemar udara yang paling kentara dan biasanya juga paling berbahaya. Sebagian benda partikulat keluar dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, tapi yang paling berbahaya adalah partikel-partikel halus butiran-butiran yang sangat kecil sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Sebagian besar partikel halus ini terbentuk dengan polutan lain terutama sulfur dioksida dan oksida nitrogen dan secara kimiawi berubah dan membentuk zat-zat nitrat dan sulfat (ISWA, 2015).

Partikulat digunakan untuk memberikan gambaran partikel cair atau padat yang tersebar di udara dengan ukuran 0,001  $\mu\text{m}$  sampai 500  $\mu\text{m}$ . Partikulat mengandung zat-zat organik maupun zat-zat non organik yang terbentuk dari berbagai macam materi dan bahan kimia. Ukuran partikel dapat menggambarkan seberapa jauh partikel dapat terbawa angin, efek yang ditimbulkannya, sumber pencemarannya dan lamanya masa tinggal partikel di udara (ISWA, 2015).

Berdasarkan lamanya partikel tersuspensi di udara dan rentang ukurannya, partikel dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu *dust fall* (*setteable particulate*) dan *suspended particulate matter* (SPM). *Dust fall* adalah partikel berbentuk lebih besar dari 10  $\mu\text{m}$ . SPM adalah partikel yang

ya lebih kecil dari 10 $\mu\text{m}$  dan keberadaannya terutama berasal dari industri dan pembakaran. Partikel yang masuk ke dalam paru-paru



dapat membahayakan manusia karena sifat kimia serta fisik partikel tersebut beracun, partikel yang masuk memiliki sifat inert serta partikel membawa molekul-molekul gas berbahaya sehingga dapat mengabsorpsi maupun mengadsorpsi molekul-molekul gas tersebut dan dapat mencapai paru-paru (ISWA, 2015).

Benda partikulat, asap dan jelaga disebut benda partikel tetapi bentuk yang paling berbahaya dari benda padat ini adalah partikel-partikel sangat kecil dan halus yang dapat menembus ke dalam paru-paru yang hanya dilindungi oleh dinding tipis setebal molekul. Sering disebut PM10 karena benda partikel tersebut lebih kecil dari 10 mikron, kebanyakan partikel halus itu berasal dari senyawa sulfur dan nitrogen yang dalam selang waktu beberapa jam atau beberapa hari berubah dari gas menjadi padat. Besarnya ukuran partikel debu yang dapat masuk ke dalam saluran pernafasan manusia adalah yang berukuran 0,1  $\mu\text{m}$  sampai 10 $\mu\text{m}$  dan berada di udara sebagai *suspended particulate matter*. Partikel debu dengan ukuran lebih > 10  $\mu\text{m}$  akan lebih cepat mengendap ke permukaan sehingga kesempatan terjadinya pemajanan pada manusia menjadi lebih kecil dan walaupun terjadi akan tertahan oleh saluran pernafasan bagian atas. Debu yang dapat dihirup disebut debu inhalable dengan diameter  $\leq$  10  $\mu\text{m}$  dan berbahaya bagi saluran pernafasan karena mempunyai kemampuan merusak paru-paru. Sebagian debu yang masuk ke saluran

dan berukuran 5  $\mu\text{m}$  akan sampai ke alveoli (ISWA, 2015).



Aktivitas tempat pembuangan sampah menghasilkan partikulat halus dan kasar yang pembuatannya akan tergantung dari kegiatan yang dilakukan di tempat tersebut maupun jenis limbah yang ditangani. Paparan partikel yang bisa masuk ke sistem pernapasan diketahui berhubungan dengan berbagai efek buruk pada kesehatan. Partikel dengan diameter antara 2,5 dan 10  $\mu\text{m}$  disebut fraksi kasar. Partikel-partikel ini memiliki efek pada kesehatan. Debu yang dipancarkan dari tempat pembuangan akan mencakup partikel yang termasuk dalam kategori 2,5  $\mu\text{m}$  dan 10  $\mu\text{m}$ . Orang yang telah mempunyai riwayat penyakit paru-paru dan jantung, orang tua dan anak-anak sangat sensitif terhadap polusi udara partikulat (ISWA, 2015).

#### **g. Bau**

Bau seringkali menjadi masalah utama bagi lokasi pembuangan, terutama yang menerima limbah yang dapat terbiodegradasi. Bau biasanya terkait dengan kegiatan seperti penanganan limbah berbau dan penutup limbah *biodegradable* atau dengan kehadiran melacak komponen dalam gas maupun lindi. Emisi berbau tak sedak seringkali disertai dengan adanya laporan kesehatan yang buruk dari masyarakat (ISWA, 2015).

Individu dapat melaporkan berbagai gejala kesehatan non-spesifik, yang menghubungkan antara paparan bau, termasuk mual, sakit kepala, kantuk, kelelahan dan masalah pernapasan. Gejala kesehatan yang dilaporkan

aitannya dengan emisi bau dapat timbul pada konsentrasi yang



dapat dideteksi penciuman jauh di bawah tingkat yang terkait dengan efek toksik atau ambang batas untuk gangguan selaput lendir (ISWA, 2015).

Respons individu terhadap bau sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk sensitivitas, usia dan sebelumnya paparan bau. Faktor-faktor psikologis dan sosial, disamping tingkat kepedulian terhadap potensi bahaya kesehatan serta memainkan peranan penting dalam respons individu (ISWA, 2015).

#### **h. Leachate**

Sifat lindi TPA adalah fungsi dari jenis limbah, kelarutan, keadaan dekomposisi dan degradasi. Input curah hujan dapat berfungsi untuk mencairkan dan membersihkan kontaminan selain membantu proses degradasi dengan membasahi limbah. Jarak yang lebar zat yang berpotensi ada dalam lindi, beberapa di antaranya berpotensi berbahaya bagi kesehatan manusia (ISWA, 2015).

Faktanya, risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh lindi menunjukkan perbedaan besar antara tempat pembuangan sampah dan tempat pembuangan akhir modern. Lindi di tempat pembuangan akhir modern dibuang setelah perawatan dalam proses di tempat, dan/atau dipekerjaan pembuangan limbah di luar lokasi. TPA modern juga sangat efektif dalam mengandung lindi dan hanya sejumlah kecil lindi saja dilepaskan melalui sistem lapisan TPA ke tanah atau air tanah (ISWA, 2015).

at pembuangan sampah modern juga memberlakukan prosedur  
uan berkelanjutan, yang mengidentifikasi kebocoran segera



setelah terjadi. Semua alasan itu, dapat didokumentasikan bahwa lindi melepaskan dari modern tempat pembuangan akhir ke permukaan atau air tanah tidak mungkin menimbulkan risiko signifikan terhadap dampak buruk terhadap kesehatan (ISWA, 2015).

Sebaliknya, pelepasan lindi oleh tempat pembuangan tidak terkontrol dan pencemaran air permukaan dan tanah harus dipertimbangkan konsekuensi yang hampir pasti dari operasi tempat pembuangan sampah. Memperhatikan bahwa tempat pembuangan sampah terletak tanpa sepatutnya prosedur yang mempertimbangkan kerentanan lingkungan, tidak mengherankan bahwa permukaan dan air tanah yang serius polusi adalah aturan di tempat pembuangan sampah (ISWA, 2015).

### **i. Biogas**

Pembentukan biogas di tempat pembuangan sampah dapat mengakibatkan risiko berupa ledakan dan beberapa kecelakaan, yang beberapa diantara memiliki konsekuensi mematikan. Gas di TPA diproduksi ketika bahan organik terurai secara anaerob, yang terdiri dari 45% hingga 60% gas metana, 40% hingga 60% karbon dioksida dan 2% hingga 9% gas lain yang sebagian besar dipancarkan ke atmosfer (Aljaradin & Kenneth, 2012). Beberapa gas yang dipancarkan juga memiliki bau yang kuat serta menyengat atau dikenal dengan nama hidrogen sulfida atau  $H_2S$  (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Hal ini disebabkan oleh adanya

penguraian bakteri di tempat pembuangan akhir sampah (Suwedi, sedangkan sisa dari gas metana yang dihasilkan TPA akan tersebar



ke udara (Tridata Corporation, 2002). Sekitar 50 persen gas yang dipancarkan dari TPA adalah metana. Sementara itu, karbon dioksida menyumbang sekitar 45% dan sisanya terdiri dari nitrogen, oksigen, hidrogen dan gas-gas lainnya. Karbon dioksida dan metana adalah dua komponen utama biogas. Efek kesehatan dari paparan metana dan karbon dioksida sudah sangat dikenal. Keduanya adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dapat menyebabkan sesak napas (ISWA, 2015).

Metana ( $\text{CH}_4$ ) adalah sebuah molekul sederhana yang terdiri dari satu atom karbon dan dikelilingi oleh 4 atom hidrogen. Gas metana merupakan gas yang terbentuk dari proses dekomposisi anaerob sampah organik yang juga sebagai salah satu penyumbang gas rumah kaca yang memiliki efek 20-30 kali lipat dibandingkan dengan gas  $\text{CO}_2$  (Sahlah, 2015). Pembakaran metana yang sempurna akan menghasilkan gas karbon dioksida dan air. Gas metana merupakan gas yang ada pada temperatur ambien tertentu dan memiliki kemampuan untuk berpindah dengan jarak yang jauh. Karakteristik utama dari gas ini adalah mudah terbakar dan meledak saat tercampur dengan udara dengan nilai konsentrasi di atas 5% (Bestar, 2012). Sekitar 60% - 90% metana yang diproduksi akan dapat dioksidasi sebelum dilepaskan ke atmosfer (Linarsih & Sarto, 2018).

Kandungan yang tinggi akan mengurangi konsentrasi oksigen di atmosfer, jika kandungan di udara hingga di bawah 19,5% akan

batkan asfiksia atau hilangnya kesadaran makhluk hidup karena gangguan asupan oksigen dalam tubuh. Menghirup gas metana dapat



menyebabkan mual, muntah, sakit kepala dan kehilangan koordinasi. Pada konsentrasi yang sangat tinggi dapat menyebabkan koma dan kematian karena menyerang sistem pernapasan (ISWA, 2015). Adapun dampak kesehatan yang disebabkan oleh gas metana adalah pusing, mual, muntah, kehilangan kesadaran dan juga kematian apabila saat keberadaan oksigen di udara kurang dari 19,5%. Pada konsentrasi oksigen yang sangat rendah, dibawah 12%, akan mengakibatkan ketidaksadaran dan juga kematian langsung tanpa adanya timbul gejala (ISWA, 2015).

Karbon dioksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu bagian karbon dan dua bagian oksigen dan diwakili oleh rumus kimia  $\text{CO}_2$ . Karbon dioksida tidak mudah terbakar dan pada konsentrasi rendah. Pada peningkatan konsentrasi, fase depresi akan berkembang dan dapat berujung pada kegagalan kardiorespirasi. Konsentrasi diatas volume 6% dapat menimbulkan sakit kepala, pusing, kebingungan mental, jantung berdebar, peningkatan tekanan darah, serta kesulitan bernapas. Manusia tidak bisa menghirup udara yang mengandung lebih dari 10% karbon dioksida tanpa mengalami kehilangan kesadaran (ISWA, 2015).

Emisi karbon dioksida merupakan salah satu gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik, baik secara anaerob maupun secara aerob (Linarsih & Sarto, 2018). Proses dari fermentasi dalam pembentukan asam dan gas metana dari senyawa organik sederhana pada reaksi anaerob

an banyak reaksi percabangan yang banyak menghasilkan karbon, sehingga dalam setiap proses pembentukan gas metana juga



akan menghasilkan gas karbon dioksida. Emisi gas metana suhu, bahan organik dan pH berpengaruh terhadap respirasi dan konsentrasi karbon dioksida (Linarsih & Sarto, 2018).

Berbeda dengan karbon dioksida, senyawa karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan pada temperatur udara normal di atmosfer tidak berwarna. CO sendiri memiliki potensi bahaya yang tinggi dan sering disebut sebagai *silent killer* karena memiliki sifat racun dan dapat membentuk ikatan yang kuat dengan hemoglobin. Dampak CO bagi kesehatan manusia apabila masuk kedalam tubuh yaitu gangguan pada otot jantung atau sirkulasi darah perifer yang akut. Pada beberapa orang yang kelebihan berat badan, mereka dapat mentolerir pajanan CO hingga kadar HbCO dalam darahnya mencapai 40% dalam waktu singkat. Kasus yang berbeda bagi orang yang menderita penyakit jantung atau paru-paru, dampaknya akan menjadi lebih parah apabila kadar HbCO dalam darahnya mencapai sebesar 5-10%. Selain itu, CO dengan kadar tinggi juga sangat berbahaya dan berpengaruh terhadap sistem saraf pusat dan kardiovaskuler (Linarsih & Sarto, 2018).

## 2. Dampak Lingkungan Terhadap Kebakaran TPA

Kebutuhan untuk pengumpulan dan sanitasi pembuangan limbah padat kota tidak diakui sampai saat ini. 50 tahun yang lalu, di seluruh dunia,

sebesar limbah padat kota dibuang ke tempat pembuangan terbuka

ng. *American Society of Civil Engineers* (ASCE) mendefinisikan

uan limbah sanitasi” sebagai operasi terkontrol di mana limbah





padat kota disimpan dalam lapisan yang telah ditentukan, setiap lapisan dipadatkan dan ditutup dengan tanah sebelum menyimpan lapisan berikutnya. Perbedaan mendasar antara tempat pembuangan dan tempat pembuangan sampah adalah bahwa dalam tempat pembuangan tidak ada upaya untuk memisahkan limbah dari lapisan tanah atau batuan yang mendasarinya dan di mana lubang meluas hingga di bawah permukaan air tanah, limbah dibuang langsung ke air tanah.

Sebaliknya, sanitasi TPA adalah struktur rekayasa yang terdiri dari lapisan bawah, pengumpulan lindi dan sistem pembuangan dan penutup akhir. TPA dirancang untuk menyimpan dan mengolah limbah. Sebagian besar risiko potensial dari TPA limbah padat kota dihasilkan dari migrasi lindi dan gas TPA yang terkontaminasi sehingga dampak lingkungan dari banyak TPA di seluruh dunia tidak dapat diabaikan. Emisi besar (lindi dan biogas) sangat dipengaruhi oleh proses biologis yang terjadi di dalamnya. Jika limbah padat kota dibuang ke TPA tanpa pra-pengolahan, emisi akan meningkat selama periode operasi TPA, yang diproduksi bahkan setelah TPA akan ditutup.

Emisi ini menghasilkan rata-rata sekitar 150 (kisaran 70-300) m<sup>3</sup> biogas per 103 kg limbah kota (terkait dengan berat bahan kering) dan sekitar 5 m<sup>3</sup>. Lindi yang terkontaminasi parah, tergantung pada komposisi limbah, kondisi iklim dan lain-lain. Nilai-nilai ini kira-kira sesuai dengan

pembuangan sampah padat di Eropa tengah dengan jumlah curah hujan mulai dari (550-750) mm. Biogas yang dihasilkan harus



dikumpulkan dan dibakar atau dapat digunakan sebagai sumber energi. Lindi yang dihasilkan harus dikumpulkan dan dirawat (Varvekova, 2019).

Polusi udara dan bau tak sedap yang berasal dari TPA di lingkungan komunitas menunjukkan keseriusan terhadap masalah polusi udara. Bouvier et al. menunjukkan bahwa warga yang tinggal lebih dekat ke TPA mengalami kontaminasi kualitas udara yang lebih tinggi daripada penduduk yang tinggal jauh dari lokasi TPA. Vrijheid mengidentifikasi bahwa beberapa komponen gas *landfill* (LFG) seperti hidrogen sulfida adalah kontributor utama terhadap bau yang berasal dari lokasi TPA. Polusi udara dan bau tak sedap adalah akibat buruknya pengelolaan TPA oleh operator TPA seperti kompresi limbah yang tepat yang ditimbun di TPA dan kurangnya pengumpulan dan pemanfaatan emisi LFG. Namun, bau yang menyengat dan polusi udara dapat diminimalisir dengan segera menutupi limbah padat setiap hari ketika disimpan di TPA; penggunaan zat pengencer yang menekan bau tidak sedap dari TPA; dan pengumpulan dan pemanfaatan LFG yang dipancarkan dari TPA (Environmental Protection Agency, 1997).

Sakawi et al. menunjukkan dalam penelitian mereka bahwa sekitar 83,7% responden mereka menunjukkan bahwa bau busuk dari TPA telah mempengaruhi ketenangan dan kualitas hidup. Selain itu, 80,5% dari peserta menunjukkan bahwa bau buruk dikaitkan dengan kesehatan buruk mereka saat ini. Studi ini menunjukkan bahwa puncak malodour dialami

alam hari memaksa penduduk untuk menutup jendela dan pintu, dan tidak menikmati ventilasi silang di rumah. Curah hujan, arah angin



dan intensitas meningkatkan intensitas bau yang berasal dari TPA. De Feo et al memastikan bagaimana peserta yang tinggal lebih dekat ke TPA merasakan bau dan polusi lokal. Studi ini menunjukkan bahwa lebih sedikit penduduk yang tinggal dekat dengan fasilitas limbah mengeluh bahwa fasilitas tersebut berkontribusi terhadap degradasi dan bau lokal. Namun, penelitian menunjukkan bahwa kompensasi moneter diberikan kepada penduduk; ini semakin mempengaruhi persepsi mereka terhadap efek bau dari TPA. Selain itu, pada tahun 2003 selama tahun operasi fasilitas limbah, warga mengeluhkan banyak bau telur busuk yang berasal dari TPA dan itu meningkat seiring dengan berlalunya waktu. Namun, pada 2009, setelah penutupan fasilitas limbah warga tidak mengeluh bau (Njoku, et. al., 2019).

Penyebaran asap kebakaran TPA bisa berbahaya bagi mereka yang tinggal di daerah itu dan bagi lingkungan. Penting agar masalah air dan kualitas air ditangani secepatnya dalam operasi penanggulangan kebakaran untuk mencegah kontaminasi sebanyak mungkin. Seperti yang disebutkan sebelumnya, air yang digunakan untuk menekan api di TPA dapat membanjiri fasilitas sistem pengumpulan lindi, jika ada (fasilitas yang lebih tua mungkin telah dibangun sebelum peraturan yang mewajibkan sistem pengumpulan lindi). Kebakaran TPA dapat secara signifikan merusak lingkungan karena emisi racun ke atmosfer, tanah dan air. Faktor risiko tergantung pada jenis limbah pembakaran, lokasi geografis TPA dan

. Secara umum, kebakaran ini terjadi pada suhu rendah dan dalam anoksik. Hidrokarbon, bahan yang diklorinasi dan pestisida



menghasilkan berbagai gas beracun dalam kondisi seperti itu, yang mungkin mengandung dioksin/furan, hidrokarbon aromatik polinuklear, partikulat terhirup (PM) dan HM serta senyawa berbahaya lainnya. Asap yang dihasilkan selama kebakaran TPA dapat mengandung gas beracun berbahaya seperti CO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> dll. Zat karsinogenik seperti dioksin. Bau dan asap buruk yang dipancarkan mengganggu lingkungan dan bahkan membahayakan kesehatan manusia, terutama di antara populasi yang rentan seperti lansia, anak-anak, wanita hamil dan/atau orang dengan kondisi pernapasan kronis yang sudah ada sebelumnya (Vaverkova, 2019).

Meskipun gas di TPA yang kaya metana memberikan peluang pemulihan energi, sering dianggap sebagai kewajiban karena sifatnya yang mudah terbakar, kemampuannya untuk membentuk campuran bahan peledak dengan udara dan kecenderungannya untuk bermigrasi jauh dari batas TPA dengan difusi dan adveksi. Difusi adalah proses fisik yang menyebabkan gas mencari konsentrasi yang seragam di seluruh volume TPA, maka gas tersebut bergerak dari area yang lebih tinggi ke area dengan konsentrasi lebih rendah. Adveksi dihasilkan dari gradien tekanan di mana gas bergerak dari zona yang lebih tinggi ke zona tekanan yang lebih rendah. Tingkat difusi dan adveksi terutama tergantung pada sifat fisik dan tingkat pembangkitan gas TPA, menolak permeabilitas, suhu TPA internal, kadar air, pembentukan tanah di sekitarnya dan perubahan

barometrik. Gas di TPA bergerak di sepanjang rute yang akan  
mungkinnya untuk keluar dari TPA baik dengan ventilasi melalui



penutup atau dengan bergerak melalui sisi ke tanah sekitarnya. Gas yang bermigrasi menemukan jalannya ke gedung dan fasilitas bawah tanah yang didirikan di, atau dekat dengan, tempat pembuangan sampah di mana ia membentuk kantong gas dan menciptakan potensi bahaya ledakan. Tergantung pada karakteristik tanah, gas dapat menempuh jarak jauh dari TPA sebelum ditemukan (Vaverkova, 2019).

Banyak insiden kebakaran dan ledakan karena migrasi gas lateral jauh dari tempat pembuangan sampah telah dilaporkan dalam literatur. Bahaya kebakaran dan ledakan tidak terbatas pada insiden yang jauh dari TPA. Kebakaran di tempat umum terjadi dan banyak terjadi di permukaan bawah tanah karena masuknya udara ke tempat pembuangan akhir dan pembentukan campuran metana dan oksigen yang dapat menyebabkan kebakaran. Udara masuk terjadi terutama sebagai hasil dari tingkat penarikan berlebihan dari pemulihan gas atau sistem kontrol migrasi. Selain itu, retak permukaan dan gradien suhu dapat menciptakan efek cerobong asap dan mengalirkan udara ke TPA. Teknik yang digunakan untuk mengendalikan api di bawah permukaan termasuk penggalian, disiram (dengan menghilangkan pasokan udara ke TPA sehingga menghilangkannya dari oksigen) dan injeksi gas inert atau air (El-Fadel, et. al., 1997). Conserve Energy Future menjabarkan beberapa dampak lingkungan yang ditimbulkan dari TPA serta kebakaran TPA sebagai



### a. Polusi Udara dan Efek Atmosfer

Polusi udara dapat diartikan sebagai adanya zat-zat asing didalam udara yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing dalam udara, dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang lama, dapat mengganggu kehidupan manusia. Saat terjadi kebakaran TPA, ada lebih dari 10 gas beracun yang dihasilkan. Gas metana adalah gas yang paling berbahaya. Gas metana diproduksi secara alami selama proses pembusukan bahan organik (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

Pada saat ini, EPA mencatat bahwa metana yang dikeluarkan selama dekomposisi bahan organik di tempat pembuangan sampah yang tidak dikelola memiliki potensi menjebak radiasi matahari 20 kali lebih efektif daripada karbon dioksida. Hasilnya adalah peningkatan suhu perkotaan dan global. Selain dari gas metana, bahan kimia rumah tangga dan pertanian lainnya yang menemukan jalan ke TPA seperti pemutih dan amonia dapat menghasilkan gas beracun yang dapat sangat mempengaruhi kualitas udara di sekitar TPA. Debu, partikel dan kontaminan non-kimia lainnya juga dapat dikeluarkan ke atmosfer, yang selanjutnya berkontribusi pada masalah kualitas udara (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).



### **b. Polusi air tanah**

Masalah lingkungan utama yang timbul karena TPA adalah pencemaran air tanah dari lindi. Ada beberapa limbah berbahaya yang menemukan jalan ke TPA dan begitu mereka berada di sana, yang tak terhindarkan adalah kerusakan alami air tanah. Produk beracun di TPA berkisar dari pelarut industri hingga pembersih rumah tangga. Selain bahan kimia dari produk rumah tangga dan industri, limbah elektronik mengandung timbal, merkuri dan kadmium. Sebagian besar racun TPA ini menyusup ke tanah untuk mencapai saluran air tawar, yang akhirnya berakhir di air domestik dan cukup menyedihkan, makanan yang kita konsumsi. Polusi juga dapat membahayakan kehidupan hewan dan tumbuhan. Penelitian mengungkapkan bahwa 82% dari TPA mengalami kebocoran (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019). Penelitian telah menunjukkan bahwa tempat pembuangan sampah tidak dapat dihindari untuk tidak mencemari air tanah, karena lindi meresap ke dalam air tanah melalui celah membran (untuk tempat pembuangan akhir saniter) dan mencemari itu, karena kandungan bakteri yang tinggi (El-Fadel, et. al., 1997).

### **c. Polusi Lahan dan Tanah**

TPA secara langsung membuat lahan dan tanah di mana ia berada tidak dapat digunakan. Ini juga menghancurkan tanah dan lahan yang subur karena bahan kimia beracun tersebar di tanah sekitarnya setiap waktu. Lapisan atas tanah rusak, mendistorsi kesuburan dan



aktivitas tanah dan mempengaruhi kehidupan tanaman. Limbah industri dan elektronik di TPA merusak kualitas tanah dan tanah sehingga mengganggu ekosistem tanah (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

#### **d. Biaya Ekonomi**

Biaya ekonomi dan sosial dari pengelolaan TPA sangat tinggi. Dari pengelolaan gas yang keluar dari TPA hingga pengelolaan pencemaran air tanah dan memastikan kepatuhan dengan kebijakan peraturan lingkungan menguras banyak uang kotamadya dan pembayar pajak dalam hal pengelolaan limbah terintegrasi. Karena sebagian besar bahan yang dibuang ke TPA membutuhkan jutaan tahun untuk terurai, merancang strategi dan fasilitas yang efektif untuk mengelola tempat pembuangan sampah membutuhkan investasi modal yang tinggi berkaitan dengan inisiatif pengelolaan dan daur ulang (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

#### **e. Kebakaran TPA**

Gas TPA bersama-sama dengan sejumlah besar limbah TPA, dapat dengan mudah menyalakan api. Begitu api dinyalakan, akan sulit untuk memadamkannya dan selanjutnya menyebabkan polusi udara. Jika tidak segera dipadamkan, mereka dapat lepas kendali dan menghancurkan lingkungan sekitarnya. Metana adalah gas yang paling mudah terbakar dan terbakar di TPA dan karena itu, mengingat pasokannya yang melimpah, ia dapat menciptakan kekacauan. Pembakaran TPA bahkan





memperburuk situasi karena pembakaran bahan kimia menambah lebih banyak muatan bahan kimia ke area tersebut (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

#### f. Kerusakan Vegetasi

Kerusakan terjadi terutama karena kekurangan oksigen di zona akar yang dihasilkan dari perpindahan oksigen langsung oleh gas TPA. Dengan tidak adanya ukuran kontrol gas, gas di TPA dapat bermigrasi ke atas karena konsentrasi dan gradien tekanan dan melarikan diri ke atmosfer dengan ventilasi melalui penutup TPA. Selama proses ini, oksigen dipindahkan dan akar tanaman terpapar dengan konsentrasi tinggi metana dan karbon dioksida, dua unsur utama gas TPA. Kekurangan oksigen menyebabkan kematian tanaman asfiksia. Meskipun paparan langsung metana mungkin tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman, oksidasi metana di dekat permukaan oleh bakteri pemakai metana (*methanotroph*) adalah faktor lain yang berkontribusi terhadap defisiensi oksigen. Pelepasan panas selama oksidasi metana meningkatkan suhu tanah menciptakan potensi untuk asfiksia tanaman. Pelepasan panas selama oksidasi metana meningkatkan suhu tanah menciptakan potensi asfiksia pada tanaman. Pembentukan karbon dioksida dari oksidasi metana dan gas TPA dapat berbahaya bagi pertumbuhan tanaman terutama pada konsentrasi tinggi. Faktor-faktor lain yang sering dilaporkan yang mungkin

ngaruhi pertumbuhan tanaman di lokasi TPA termasuk keberadaan a beracun dalam gas TPA dan menutupi karakteristik tanah seperti



ketebalan, komposisi, pemadatan dan kelembaban (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

#### **g. Bau yang Tidak Menyenangkan**

Bau terutama adalah hasil dari adanya konsentrasi kecil konstituen yang berbau (ester, hidrogen sulfida, organosulfur, alkilbenzena, limonena dan hidrokarbon lainnya) dalam gas *landfill* yang dipancarkan ke atmosfer. Sifat bau gas TPA dapat sangat bervariasi dari yang relatif manis hingga pahit dan tajam tergantung pada konsentrasi konstituen yang berbau di dalam gas. Konsentrasi ini akan bervariasi sesuai dengan komposisi dan usia limbah, tahap dekomposisi dan laju produksi gas, serta sifat populasi mikroba di dalam limbah, di antara faktor-faktor lain. Meskipun banyak senyawa jejak yang berbau mungkin beracun, mereka secara historis dianggap lebih sebagai gangguan lingkungan daripada sebagai bahaya kesehatan langsung. Sejauh mana bau menyebar dari batas TPA tergantung terutama pada kondisi cuaca (angin, suhu, tekanan, kelembaban) (Conserve Energy Future, diakses pada 15 Desember 2019).

### **3. Dampak Sosial Terhadap Kebakaran TPA**

Dampak yang paling parah dirasakan oleh banyak pihak akibat pembakaran tersebut adalah polusi kabut asap yang mengganggu berbagai sendi kehidupan. Terganggunya aktivitas manusia akibat kebakaran juga

mempengaruhi produktivitas dan penghasilan. Sejumlah masyarakat lama ini menggantungkan hidupnya dari hasil memulung tidak melakukan aktivitasnya. Asap yang ditimbulkan dari kebakaran



tersebut mengganggu aktivitas yang secara otomatis juga ikut mempengaruhi penghasilannya. Hilangnya mata pencaharian milik masyarakat sekitar wilayah kebakaran TPA juga turut mengakibatkan tingkat penghidupan keluarga dengan latar belakang keluarga kurang mampu atau dengan status ekonomi kelas menengah ke bawah yang semakin kesulitan dan menderita dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Setelah kebakaran usai pun dipastikan bahwa masyarakat kehilangan sejumlah areal dimana biasa mengambil sampah (Irwansyah, 2015; Septianingrum, 2018).

Bahkan kabut asap juga menghentikan perekonomian dibidang perdagangan. Para pedagang dengan kondisi kabut asap yang tebal banyak yang enggan melakukan kegiatan jual beli karena juga disebabkan minimnya atau sangat sedikit konsumen yang melakukan kegiatan jual beli. Sehingga mengakibatkan para pedagang kecil ikut merugi. Ketika asap menyebar, kegiatan perdagangan dan sekolah di wilayah sekitar kebakaran terpaksa dihentikan dan diliburkan. Hal ini melumpuhkan aktifitas ekonomi bagi banyak keluarga yang berpenghasilan rendah dan membahayakan mereka untuk lebih jatuh miskin. Kerugian tersebut karena terhentinya segala macam aktivitas perekonomian selama beberapa waktu. Kegiatan persekolahan juga diliburkan sementara waktu akibat penutupan sekolah (Irwansyah, 2015; Septianingrum, 2018).

elain itu, terganggunya aktivitas dan penurunan produktivitas kat. Adanya gangguan asap secara otomatis juga mengganggu



aktivitas yang dilakukan manusia sehari-hari. Misalnya pada pagi hari sebagian orang tidak dapat melaksanakan aktivitasnya karena sulitnya sinar matahari menembus udara yang penuh asap. Demikian pula terhadap banyak aktivitas yang menuntut manusia untuk berada di luar ruangan. Adanya gangguan asap akan mengurangi intensitas diri untuk berada di luar ruangan. Munculnya asap akan menghalangi produktivitas manusia. Walaupun dapat keluar rumah menggunakan masker, tetapi sinar matahari di pagi hari tidak mampu menembus ketebalan asap yang ada. Secara otomatis waktu kerja seseorang pun berkurang karena harus menunggu sedikit lama agar matahari mampu memberikan sinar terangnya. Ketebalan asap juga memaksa orang menggunakan masker yang sedikit banyak mengganggu aktivitasnya sehari-hari. Hal tersebut di atas mengakibatkan berkurangnya pemasukan yang diterima oleh individu (Irwansyah, 2015).

### **G. Upaya Pencegahan Kebakaran TPA**

Mengingat dampak kebakaran TPA yang sangat membahayakan kesehatan dan merugikan secara finansial maka pencegahan kebakaran merupakan hal yang penting. Perlu diketahui bahwa ongkos untuk mencegah kebakaran umumnya lebih rendah daripada ongkos pemadaman api dan kerugian fasilitas fisik serta biaya lainnya. Kebakaran TPA dapat dicegah dengan upaya pengelolaan TPA yang baik dan

lain produksi gas metan TPA (Tridata Corporation, 2002).

laan TPA yang efektif adalah kunci utama pencegahan kebakaran

ling efisien. Pengelolaan tersebut meliputi upaya mencegah atau



melarang segala bentuk yang memicu munculnya api melalui inspeksi sampah yang masuk TPA, melarang pembakaran sampah di TPA, melarang kebiasaan buruk merokok atau memasak dengan kayu bakar di TPA, memadatkan dan menutup sampah harian dengan tanah dan menjaga keamanan TPA (Dueñas and Associates Project Team, 2005).

Pengendalian produksi gas metan TPA dapat dilakukan dengan monitoring secara berkala. Jika tingkat metan mencapai kondisi yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan, pengelola TPA harus melakukan langkah cepat memitigasi bahaya tersebut. Pengendalian gas metan dilakukan dengan memasang sumur gas dan pompa penghisap serta interkoneksi pipa pengumpul gas. Gas yang dikumpulkan dapat dimanfaatkan untuk sumber energi atau sekedar dibakar (*flaring*). Namun demikian, pengumpulan gas harus dijaga sedemikian rupa agar tidak berlebihan karena jika berlebihan juga akan memicu terjadinya kebakaran karena masuknya oksigen ke dalam tumpukan sampah (Dueñas and Associates Project Team, 2005).

*Flaring* adalah metode umum yang banyak dipakai TPA di berbagai negara karena dianggap lebih murah dibandingkan dengan upaya mengubahnya menjadi energi listrik. Gas metan yang terbakar dikonversi menjadi karbon dioksida yang memiliki tingkat bahaya yang lebih rendah.

*Flaring* juga bermanfaat untuk menghancurkan komponen-komponen gas

menyebabkan bau, kerusakan tanaman dan meningkatkan risiko

Pemanfaatan gas untuk pembangkitan energi memang lebih



bijaksana dibanding dengan *flaring* karena energinya digunakan untuk membangkitkan listrik sebagai energi terbarukan. Namun biaya investasi, operasi dan pemeliharaannya lebih mahal dibandingkan dengan *flaring* (Wahyono, 2015).

