

PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN



Afidatul Muadifah, M. Si



Afidatul Muadifah, M. Si



Media Nusa Creative
Anggota IKAPI (162/JTI/2015)
Bukit Cemara Tidar H5 No. 34 Malang
Telp : 0812 3334 0088
Email : mncpublishing.layout@gmail.com
Website : www.mncpublishing.com



PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

Oleh:

Afidatul Muadifah, M. Si



PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

© Afidatul Muadifah, 2019

Penulis

Afidatul Muadifah, M.Si.

Editor

Indra Lasmana Tarigan, S. Pd., M. Sc

Desain Cover & Penata Isi

Tim MNC Publishing

Cetakan I, Juli 2019

Diterbitkan oleh :



MNC
PUBLISHING
FUTURE BOOKS WITH PASSION

Media Nusa Creative

Anggota IKAPI (162/JTI/2015)

Bukit Cemara Tidar H5 No. 34, Malang

Telp. : 0812.3334.0088

E-mail : mncpublishing.layout@gmail.com

Website : www.mncpublishing.com

ISBN 978-602-462-275-6

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ke dalam bentuk apapun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk fotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit. Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta, Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 72, Ayat (1), (2), dan (6)

KATA PENGANTAR

Isu lingkungan global telah menunjukkan fakta akan banyaknya bahaya yang ditimbulkan oleh adanya bahan-bahan kimia berbahaya dalam kadar berlebih. Bahan kimia berbahaya tidak hanya dihasilkan secara alami melainkan lebih sering diproduksi oleh ulah tangan manusia. Isu besar tersebut memicu penulis untuk memberikan tambahan informasi kepada semua pihak khususnya mahasiswa Farmasi STIKes Karya Putra Bangsa sebagai calon ahli kimia lingkungan agar dapat mengembangkan dan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh demi meningkatkan kualitas lingkungan dengan mengendalikan pencemaran lingkungan melalui penulisan sebuah buku dengan judul **“Pengendalian Pencemaran Lingkungan”**.

Pengendalian pencemaran lingkungan merupakan bagian dari ilmu kimia yang mempelajari pengaruh dari bahan kimia terhadap lingkungan dan bagaimana cara untuk mengendalikannya agar tidak melanggar regulasi yang sudah ditetapkan. Informasi dan pengetahuan tentang kondisi lingkungan sangat diperlukan oleh mahasiswa, karena dengan bekal tersebut mahasiswa dapat mempelajari zat-zat kimia yang penggunaannya dapat menguntungkan lingkungan seperti pada bidang kemajuan teknologi. Akan tetapi, hasil-hasil sampingannya dapat merugikan, selain itu dengan buku pengendalian pencemaran lingkungan ini diharapkan mahasiswa dapat mengetahui metode pengendalian pencemaran lingkungan yang tepat.

Penyusunan buku ajar ini melibatkan berbagai pihak, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih. Mengingat ketidaksempurnaan buku ajar ini,

penulis sangat lapang menerima kritik dan saran demi kesempurnaan buku ajar ini di lain waktu.

Tulungagung, Juni 2019
Penyusun,
Afidatul Muadifah, M. Si

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii

BAB I PEMANASAN GLOBAL

1.1 Definisi Pemanasan Global	1
1.2 Penyebab Pemanasan Global	2
1.2.1 Gas Rumah Kaca	2
1.2.2 Rusaknya Lapisan Ozon	4
1.3 Proses Terjadinya Pemanasan Global	5
1.3.1 Gas Rumah Kaca	5
1.3.2 Rusaknya Lapisan Ozon	6
1.4 Dampak Pemanasan Global	8
1.4.1 Dampak Pada cuaca	8
1.4.2 Dampak Pada Laut	9
1.4.3 Dampak Pada Makhluk hidup	10
1.5. Upaya Pencegahan dan Solusi Pemanasan Global	10

BAB II AIR

2.1 Siklus Air/Siklus Hidrologi	13
2.1.1 Pengertian Siklus Hidrologi	13
2.1.2 Proses Terjadinya Siklus hidrologi	13
2.1.3 Macam Siklus Hidrologi	17
2.2 Pencemaran Air	17
2.2.1 Definisi Pencemaran	17
2.2.2 Indikator Pencemaran Air	20
2.2.3 Macam Pencemar Air	21
2.2.4 Dampak Pencemaran Air	22
2.2.5 Penanggulangan Pencemaran	24

BAB III TANAH

3.1	Pengertian Tanah.....	27
3.2	Pengertian Pencemaran Tanah	27
3.3	Sumber Pencemaran Tanah	28
3.4	Komponen-Komponen Bahan Pencemaran Tanah	29
3.4.1	Limbah Domestik	29
3.4.2	Limbah industri	29
3.4.3	Limbah Pertanian.....	30
3.4.4	Dampak yang Ditimbulkan Akibat Pencemaran Tanah.....	30
3.4.5	Penanganan Pencemaran Tanah.....	32
3.5	Pencegahan Pencemaran Tanah.....	32
3.6	Penanggulangan Komponen Bahan Pencemaran Tanah....	33
3.7	Tanah Tercemar dan Tidak Tercemar.....	35
3.7.1	Tanah Tercemar	35
3.7.2	Tanah Tidak Tercemar	35

BAB IV UDARA

4.1	Pengertian Udara.....	37
4.2	Siklus Udara	37
4.3	Pengertian dan Proses Terjadinya Pencemaran Udara.....	38
4.4	Zat yang Menyebabkan Pencemaran Udara	44
4.4.1	Partikulat.....	44
4.4.2	Belerang Oksida (SO _x).....	45
4.4.3	Karbon Monoksida (CO)	47
4.4.4	Oksida Nitrogen (NO _x)	48
4.4.5	Hidrokarbon (HK)	49
4.4.6	Oksidan Fotokimia	49
4.4.7	Hidrokarbon Sulfida (H ₂ S)	50
4.4.8	Logam Berat.....	51
4.5	Sumber Pencemaran Udara	51
4.6	Pengaruh Pencemaran Udara Bagi Kesehatan.....	52
4.7	Usaha untuk Mengurangi atau Mencegah Terjadinya Pencemaran Udara	54
4.7.1	Polusi Udara oleh Gas Ozon dan Pengelolaannya ...	55

4.7.2	Polusi Udara oleh Oksida Karbon (CO dan CO ₂) dan Pengelolaannya	55
4.7.3	Polusi Udara oleh Oksida Belerang (SO ₂ dan SO ₃) dan Pengelolaannya	57
4.7.4	Polusi Udara oleh Oksida Nitrogen (NO, NO ₂ dan N ₂ O) dan Pengelolaannya.....	58
4.7.5	Polusi Udara oleh Partikel Mokuler dan Pengelolaannya	58

BAB V LIMBAH INDUSTRI DOMESTIK

5.1	Pengertian Industri Domestik.....	61
5.2	Limbah Industri Domestik	62
5.2.1	Limbah Cair	62
5.2.2	Limbah Gas.....	63
5.2.3	Limbah Padat	64
5.3	Dampak Lingkungan Akibat limbah industri Domestik....	64
5.4	Regulasi Terkait Pengolahan Limbah Industri Domestik... 68	
5.4.1	Peraturan Pengelolaan Lingkungan Kegiatan Industri Rumah Tangga	69
5.4.2	Standar Prosedur Pengelolaan Limbah Industri Rumah Tangga	72
5.4.3	Kebijakan dan Regulasi di Bidang Baku Mutu Air... 73	
5.4.4	Kebijakan dan Regulasi di Bidang Teknik Pengelolaan Limbah Cair Industri	74
5.4.5	Kebijakan dan Regulasi di Bidang Tata Ruang dan Bangunan	74
5.4.6	Kebijakan dan Regulasidi Bidang Kelembagaan..... 75	
5.5	Pengolahan Limbah Industri Domestik	76
5.5.1	Pengolahan Limbah Industri Cair	76
5.5.1.1	Kajian Teknologi Anaerob untuk Mengolah Air Limbah Industri	76
5.5.2	Pengolahan Limbah Gas (Industri Pestisida)	80
5.5.2.1	Proses Pengolahan Limbah Gas Industri Pestisida	80

5.5.3	Proses Pengolahan Limbah Padat Industri	81
-------	---	----

BAB VI LIMBAH INDUSTRI NEGARA MAJU (AMERIKA SERIKAT) 85

6.1	Konsep dan Penerapan Sistem <i>Cleaner Production</i> dalam Industri	85
6.1.1	Meminimalkan Limbah dari Sumbernya	86
6.1.2	Mendaur Ulang	88
6.1.3	Memodifikasi Produk	88
6.2	Limbah Padat (B3)	89
6.2.1	Teknologi Pengolahan	95
6.2.2	Penganganan Limbah B3	99
6.2.3	Pembuangan Limbah B3	101
6.3	Limbah Cair	104
6.3.1	Pengendalian di dalam Industri Kertas Amerika	104
6.3.2	Pengolahan Limbah Cair	105
6.3.3	Peraturan kriteria Reuse Air	106
6.4	Limbah Gas	107

BAB VII LIMBAH RUMAH SAKIT 113

7.1	Rumah Sakit	113
7.1.1	Pengertian Rumah Sakit	113
7.1.2	Klasifikasi Rumah Sakit	113
7.2	Limbah Rumah Sakit	115
7.2.1	Sumber-sumber Limbah Rumah Sakit	115
7.2.2	Karakteristik Limbah Rumah Sakit	116
7.2.3	Klasifikasi Limbah Rumah Sakit	117
7.3	Dampak Limbah Rumah Sakit	123
7.4	Pengolahan Limbah Rumah Sakit	123
7.4.1	Minimisasi Limbah	124
7.4.2	Pemilahan Limbah	125
7.4.3	Pengumpulan Limbah Medis	125
7.4.4	Pengangkutan Limbah Medis	126
7.4.5	Tempat Penampungan Sementara	126

7.4.6	Teknologi Pengolahan dan Pembuatan Limbah Rumah Sakit.....	127
7.5	Persyaratan Pengelolaan Limbah Rumah Sakit	129
7.5.1	Limbah Medis Padat.....	129
7.5.1.1	Minimasi Limbah	129
7.5.1.2	Pemilahan, Pewadahan, Pemanfaatan kembali dan Daur Ulang	129
7.5.1.3	Pengumpulan, Pengangkutan, dan Penyimpanan Limbah Media Padat	130
7.5.1.4	Pengumpulan, Pengemasan, dan Pengangkutan ke Luar Rumah Sakit	131
7.5.1.5	Pengolahan dan Pemusnahan	131
7.5.2	Limbah Medis Non Padat.....	132
7.5.2.1	Pemilahan dan Pewadahan.....	132
7.5.2.2	Pengumpulan, Penyimpanan, dan Pengangkutan	133
7.5.2.3	Pengolahan dan Pemusnahan	133
7.5.3	Limbah Cair	133
7.5.4	Limbah Gas.....	133
7.6	Tata Laksana Pengelolaan Limbah Rumah Sakit.....	134
7.6.1	Limbah Medis Padat.....	134
7.6.1.1	Minimasi Limbah	134
7.6.1.2	Pemilahan, Pewadahan, Pemanfaatan Kembali dan Daur Ulang	134
7.6.1.3	Tempat Penampungan Sementara	135
7.6.1.4	Transportasi	136
7.6.1.5	Pengolahan, Pemusnahan, dan Pembuangan Akhir Limbah Padat.....	136
7.6.2	Limbah Padat Non Medis.....	143
7.6.2.1	Pemilahan Limbah Padat Non Medis.....	143
7.6.2.2	Tempat Pewadahan Limbah Padat Non Medis.....	143
7.6.2.3	Pengangkutan	143
7.6.2.4	Tempat Penampungan Limbah Padat Non Medis Sementara	143

7.6.2.5	Pengolahan Limbah Padat	144
7.6.2.6	Lokasi Pembuangan Limbah Padat Akhir....	144
7.7	Limbah Cair.....	144
7.8	Limbah Gas	145
BAB VIII LIMBAH RUMAH TANGGA		147
8.1	Regulasi Pengolahan Limbah Rumah Tangga	147
8.2	Sistem Pengolahan Limbah Rumah Tangga Domestik.....	149
DAFTAR PUSTAKA.....		157

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi udara bersih	39
Tabel 2. Perkiraan tingkat bahaya polutan	41
Tabel 3. Konsentrasi maksimum SO ₂ dengan waktu	57
Tabel 4. Klasifikasi air limbah.....	63
Tabel 5. Beberapa penyakit dan bawaannya air.....	66
Tabel 6. Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri pelapisan logam dan galvanis	68
Tabel 7. Contoh sumber limbah rumah sakit.....	115
Tabel 8. Metode sterilisasi untuk limbah yang dimanfaatkan kembali	131
Tabel 9. Jenis wadah dan label limbah medis padat sesuai kategorinya.....	132

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Tingkat distribusi gas rumah kaca	3
Gambar 2.	Efek Rumah Kaca	5
Gambar 3.	Ilustrasi kejadian efek rumah kaca	6
Gambar 4.	Proses kerusakan ozon oleh klorin	7
Gambar 5.	Siklus hidrologi	14
Gambar 6.	Variasi suhu udara terhadap jarak	37
Gambar 7.	Reaksi pembakaran	42
Gambar 8.	Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara	43
Gambar 9.	Partikel asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru	45
Gambar 10.	Distribusi SO ₂ akibat letusan Gunung Merapi	46
Gambar 11.	Mobil sebagai sumber CO	47
Gambar 12.	Efek ozon pada permukaan daun labu merah	50
Gambar 13.	Sumber pencemar udara bergerak dan tidak bergerak	52
Gambar 14.	Diagram mekanisme biokimia dari proses anaerobik	77
Gambar 15.	Proses pembuatan tepung ikan	82
Gambar 16.	Proses Pembuatan Chitin dan Chitosan.	83
Gambar 17.	<i>Cleaner Production Options (Mini-guide to Cleaner Production)</i>	86
Gambar 18.	Langkah penilaian <i>Cleaner Production (Mini-guide to Cleaner Production)</i>	89
Gambar 19.	Konsep <i>cradle-to-grave</i> Amerika Serikat	93
Gambar 20.	Hazardous Material Container	99
Gambar 21.	<i>Secured Landfill</i>	101
Gambar 22.	Deep Injection Well	102
Gambar 23.	<i>Electrostatic Precipitator</i>	108
Gambar 24.	<i>Irrigated Cyclone Scrubber</i>	109

PEMANASAN GLOBAL

1.1 Definisi Pemanasan Global

Pemanasan global didefinisikan sebagai kenaikan suhu rata-rata di bumi (Venkataramanan & Smitha, 2011). Kenaikan suhu atau dikenal dengan istilah pemanasan global (*global warming*) merupakan salah satu contoh dari perubahan iklim. Perubahan iklim secara umum didefinisikan sebagai perubahan variabel iklim antara lain adalah temperatur atau suhu udara, kelembaban udara, tekanan atmosfer, kondisi awan, intensitas sinar matahari, curah hujan, dan angin yang terjadi secara berangsur-angsur dalam jangka waktu antara 50-100 tahun (Suweni, 2005). Pemanasan global dimulai ketika sinar matahari sampai ke bumi. Awan, partikel atmosfer, permukaan tanah yang reflektif dan permukaan lautan kemudian mengirimkan sekitar 30% sinar matahari kembali ke angkasa, sementara sisanya diserap oleh laut dan udara. Bumi semakin panas menyebabkan energi matahari akan dipancarkan oleh radiasi termal dan sinar inframerah dan segera menyebar ke luar angkasa sehingga mendinginkan bumi. Namun, beberapa radiasi yang telah keluar diserap kembali oleh karbon dioksida, uap air, ozon dan metana di atmosfer dan dipancarkan kembali ke permukaan bumi. Gas tersebut dikenal sebagai gas rumah kaca. Pada tahun 2004, lebih dari 8 miliar ton karbon dioksida yang dipancarkan oleh radiasi termal terhambat karena meningkatnya tingkat gas rumah kaca dan menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai efek pemanasan global yang disebabkan oleh manusia (Shahzad & Riphah, 2015).

1.2 Penyebab Pemanasan Global

Terjadinya pemanasan global dapat dipengaruhi oleh adanya aktivitas manusia maupun aktivitas alam (alamiah). Aktivitas manusia yang diperkirakan berkontribusi pada kenaikan suhu bumi antara lain adalah aktivitas yang meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) maupun aktivitas yang mempercepat terjadinya penipisan lapisan ozon (Suwedi, 2005).

1.2.1 Gas Rumah Kaca

Menurut Venkataramanan dan Smitha (2011), penyebab *global warming* yang signifikan adalah adanya penumpukan karbondioksida di atmosfer terutama dari bahan bakar fosil.

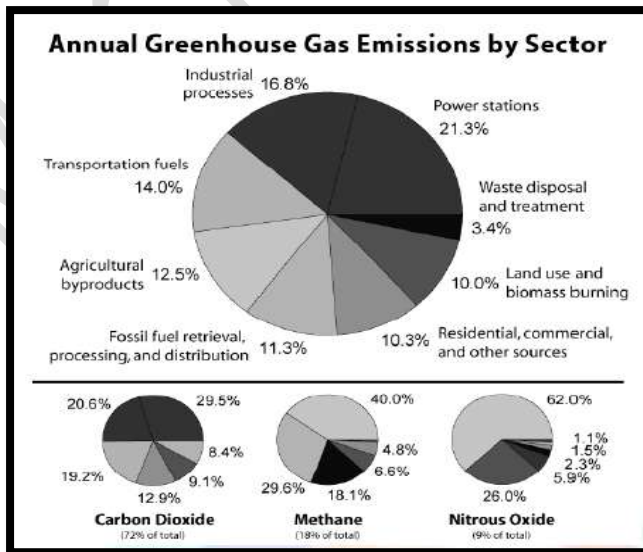
Penyebab utama pemanasan global adalah gas rumah kaca seperti karbon dioksida, metana, oksida nitrat dan dalam beberapa kasus senyawa klorin dan senyawa bromin. Penumpukan gas-gas ini di atmosfer mengubah keseimbangan radiasi di atmosfer. Efek keseluruhannya adalah menghangatkan permukaan bumi dan atmosfer yang lebih rendah karena gas rumah kaca menyerap beberapa radiasi keluar bumi dan memancarkannya kembali ke permukaan (Shahzad & Riphah, 2015). Gas Rumah Kaca (GRK) yang dipancarkan oleh aktivitas manusia antara lain adalah :

- a) *Karbon dioksida*: Karbon dioksida merupakan yang pertama dan utama, dimana pembakaran bahan bakar fosil yang berlebihan seperti batu bara dan minyak merupakan faktor utama untuk memproduksi karbon dioksida. Kedua, deforestasi yaitu penebangan pohon untuk memperoleh lahan dapat menyebabkan sejumlah besar karbon dioksida di atmosfer. Ketiga, semen juga menyumbang karbon dioksida ke atmosfer saat kalsium karbonat dipanaskan menghasilkan kapur dan karbon dioksida (Shahzad & Riphah, 2015).
- b) *Metana*: Metana yang biasa dikenal dengan gas alam, dihasilkan dari aktivitas pertanian seperti pencernaan ternak, usaha tani di sawah dan penggunaan pupuk kandang. Metana juga dihasilkan karena pengelolaan limbah yang tidak benar (Shahzad & Riphah,

2015). Kegiatan yang menghasilkan gas CH₄ (Methane) seperti kegiatan proses produksi dan pengangkutan batubara, minyak bumi, dan gas alam; kegiatan industri yang menghasilkan bahan baku (ekstraktif industri); kegiatan pembakaran biomas yang tidak sempurna; serta kegiatan penguraian oleh bakteri di tempat pembuangan akhir (TPA), ladang padi dan peternakan (Suwedi, 2005).

- c) *Chlorofluorocarbons (CFC)*: Chlorofluorocarbons (CFC) merupakan hasil dari berbagai proses industri dan pendinginan. CFC digunakan sebagai aerosol dalam cairan pembersih industri dan alat pendingin (Shahzad & Riphah, 2015).
- d) *Nitrat Oksida (N₂O)*: Kegiatan yang menghasilkan gas N₂O (Nitrous Oksida) hasil dari pemakaian pupuk nitrogen yang berlebihan di dalam usaha penanaman padi, aktivitas industry dengan menggunakan limbah padat sebagai bahan bakar alternatif dan penggunaan bahan bakar minyak bumi (Suwedi, 2005).

Pada gambar 1 menunjukkan tingkat distribusi gas rumah kaca. Gas-gas ini memainkan bagian negatifnya dalam meningkatkan pemanasan global (Shahzad & Riphah, 2015).



Gambar 1. Tingkat distribusi gas rumah kaca

1.2.2 Rusaknya Lapisan Ozon

Penyebab pemanasan global yang kedua adalah penipisan lapisan ozon. Hal ini terjadi terutama karena adanya gas yang mengandung klorin, dimana ketika terdapat sinar ultraviolet, gas tersebut dapat memisahkan atom klorin dan kemudian mengkatalisis kerusakan ozon. Aerosol yang hadir di atmosfer menyebabkan pemanasan global dengan mengubah iklim berdasar dua cara yang berbeda yaitu, menyebarkan dan menyerap radiasi matahari dan inframerah serta mengubah sifat fisika dan kimia awan. Penyebaran radiasi matahari bertindak untuk mendinginkan bumi, sementara penyerapan radiasi matahari oleh aerosol menghangatkan udara secara langsung. Kegiatan manusia yang dapat meningkatkan jumlah aerosol di atmosfer misalnya, debu merupakan produk sampingan dari pertanian, pembakaran biomassa menghasilkan campuran tetesan organik dan partikel jelaga dan emisi gas buang dari berbagai jenis transportasi menghasilkan campuran polutan (Shahzad & Riphah, 2015).

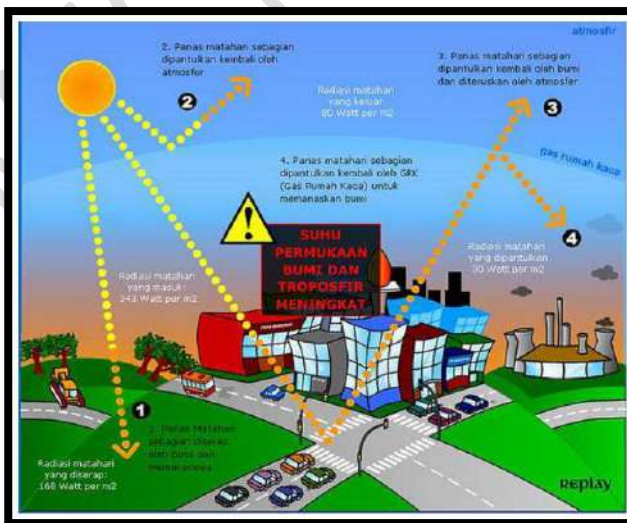
Kenaikan suhu muka bumi akibat adanya penipisan lapisan ozon di atmosfer, terutama di wilayah kutub. Lapisan ozon bermanfaat bagi perlindungan terhadap radiasi langsung dari sinar matahari ke permukaan bumi yang merugikan keberlangsungan dan kehidupan makhluk hidup di bumi. Keberadaan bahan perusak ozon yang merupakan sumber utama penyebab rusaknya lapisan ozon merupakan ancaman yang cukup serius bagi umat manusia dan makhluk hidup yang ada di muka bumi (Suwedi, 2005). Kegiatan yang menghasilkan bahan perusak ozon (BPO) antara lain adalah kegiatan industri pendingin udara (kulkas dan AC), pesawat terbang, katalisator proses industri, bahan pencegah kebakaran dan fumigasi yang menggunakan CFC, Halon, Aerosol, Solvent, dan Metil Bromida (Suwedi, 2005). Meningkatnya Gas Rumah Kaca (GRK) dan Bahan Perusak Ozon (BPO) di atmosfer bisa juga diakibatkan oleh menurunnya kemampuan alam di dalam menyerap karbon. Aktivitas penggundulan hutan serta pola penggunaan lahan yang tidak berwawasan lingkungan ditengarai akan mengurangi

kemampuan alamiah alam dalam menyerap karbon yang ada di atmosfer (Suwedi, 2005).

1.3 Proses Terjadinya Pemanasan Global

1.3.1 Gas Rumah Kaca

Sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari. Sebagian besar energi tersebut dalam bentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energy tersebut mengenai permukaan bumi akan berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Permukaan bumi, akan menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya sebagai radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun, sebagian panas tetap terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca yang menjadi perangkap gelombang radiasi ini. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi dan akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Oleh karena itu suhu di permukaan bumi akan meningkat, dan terjadilah efek rumah kaca (ERK). Peningkatan kadar gas rumah kaca menyebabkan meningkatnya intensitas efek rumah kaca, sehingga menyebabkan pemanasan global.



Gambar 2. Efek rumah kaca

Contoh lain yang dapat mengilustrasikan kejadian efek rumah kaca adalah, ketika berada dalam mobil dengan kaca tertutup yang sedang parkir di bawah terik matahari. Panas yang masuk melalui kaca mobil, sebagian dipantulkan kembali ke luar melalui kaca tetapi sebagian lainnya terperangkap di dalam ruang mobil. Akibatnya suhu di dalam ruang lebih tinggi (panas) daripada di luar (Gealson, 2007).



Gambar 3. Ilustrasi kejadian efek rumah kaca

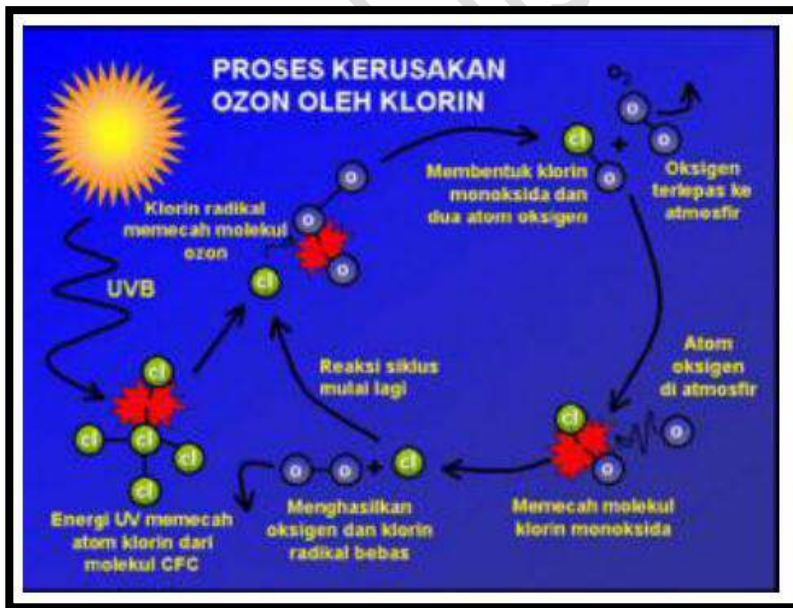
Gas-gas tersebut berfungsi sebagaimana kaca pada atap rumah kaca. Konsentrasi gas tersebut yang semakin meningkat di atmosfer, menyebabkan semakin besar pula efek panas yang terperangkap di bawahnya. Efek rumah kaca ini sangat dibutuhkan oleh segala makhluk hidup yang ada di bumi, karena tanpa efek rumah kaca planet bumi akan menjadi sangat dingin lebih kurang -18°C , sehingga seluruh permukaan bumi akan tertutup lapisan es. Dengan temperatur rata-rata sebesar 15°C , bumi sebenarnya telah lebih panas 33°C dengan efek rumah kaca. Akan tetapi jika gas-gas tersebut telah berlebih di atmosfer, maka akan terjadi sebaliknya dan mengakibatkan pemanasan global (Gealson, 2007).

1.3.2 Rusaknya Lapisan Ozon

Lapisan ozon mulai dikenal oleh seorang ilmuwan dari Jerman, Christian Friedrich Schonbein pada tahun 1839. Ia berwarna

biru pucat yang terbentuk dari tiga atom oksigen (O_3) (Gealson, 2007).

Ozon adalah gas yang tidak berwarna dan ditemui di lapisan stratosfer yaitu lapisan awan yang terletak antara 15 hingga 35 kilometer dari permukaan bumi. Istilah 'ozon' atau lebih tepat lagi 'lapisan ozon' mulai mendapat perhatian sekitar tahun 1980an ketika para ilmuwan menemukan adanya 'lubang' di lapisan ozon di Antartika. Lubang tersebut merupakan hasil dari tenaga matahari yang mengeluarkan radiasi ultra yang tinggi. Radiasi itu berpecah menjadi molekul oksigen sekaligus melepaskan atom bebas di mana setengahnya diikat dengan molekul oksigen yang lain untuk membentuk ozon. Dengan terjadinya reaksi ini akan mengurangi konsentrasi ozon di stratosfer. Semakin banyak senyawa yang mengandung khlor dan brom merusakkan lapisan ozon semakin parah (Gealson, 2007).



Gambar 4. Proses kerusakan ozon oleh klorin

1.4 Dampak Pemanasan Global

1.4.1 Dampak Pada Cuaca

Menurut Pawitro (2016), seratus tahun terakhir hingga memasuki tahun 2010, suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah mengalami peningkatan sebesar $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ atau setara dengan $1,33 \pm 0,32^{\circ}\text{C}$. Menurut *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC) menjelaskan bahwa sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global (yang terjadi sejak pertengahan abad 20), kemungkinan besar disebabkan oleh adanya peningkatan efek rumah kaca (*green house effects*) yang diakibatkan oleh aktifitas manusia.

Meningkatnya suhu cenderung akan meningkatkan curah hujan karena uap air berlebih yang hadir di atmosfer jatuh lagi seperti hujan yang menyebabkan banjir di berbagai wilayah di dunia. Bila cuaca berubah lebih hangat, proses penguapan dari darat dan laut akan meningkat. Hal ini menyebabkan kekeringan di daerah dimana proses penguapan meningkat tidak dikompensasikan dengan kenaikan curah hujan (Venkataramanan dan Smitha, 2011). Menurut Shahzad & Riphah (2015), kejadian tersebut dapat mengakibatkan kegagalan panen dan kelaparan terutama di daerah dengan suhu yang tinggi.

Kandungan uap air yang besar di atmosfer akan turun menjadi hujan yang lebat sehingga menyebabkan banjir. Kota dan desa yang bergantung pada air lelehan dari pegunungan bersalju mungkin menderita kekeringan dan kelangkaan pasokan air. Hal ini karena gletser di seluruh dunia menyusut pada tingkat yang sangat cepat dan mencairnya es yang lebih cepat daripada sebelumnya. Iklim yang lebih hangat akan menyebabkan peningkatan gelombang panas, curah hujan yang lebih dahsyat, tingkat keparahan hujan es, dan badai petir (Shahzad & Riphah, 2015).

Meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim dan perubahan iklim menyebabkan musim sulit diprediksi. Petani tidak dapat memprediksi perkiraan musim tanam akibat musim yang tidak menentu sehingga produksi panen juga tidak menentu. Hal ini

berdampak pada masalah penyediaan pangan bagi penduduk, kelaparan, lapangan kerja bahkan menimbulkan kriminal akibat tekanan tuntutan hidup.

1.4.2 Dampak Pada Laut

Peran lautan dalam pemanasan global sangat kompleks, dimana laut berfungsi sebagai penyerap karbon dioksida. Pemanasan global mengakibatkan peningkatan suhu laut meningkat dan hal tersebut menyebabkan laut kurang mampu menyerap kelebihan CO₂. Akibat lain yang terjadi yaitu pencairan gletser dan lapisan es (Venkataramanan dan Smitha, 2011).

Meningkatnya permukaan air laut adalah dampak paling mematikan dari pemanasan global, kenaikan suhu menyebabkan es dan gletser meleleh dengan cepat. Hal ini akan menyebabkan kenaikan kadar air di lautan, sungai dan danau yang bisa memicu kerusakan dalam bentuk banjir (Shahzad & Riphah, 2015).

Mencairnya lapisan es di kutub Utara dan Selatan. Peristiwa ini mengakibatkan naiknya permukaan air laut secara global, hal ini dapat mengakibatkan sejumlah pulau-pulau kecil tenggelam. Kehidupan masyarakat yang hidup di daerah pesisir terancam. Permukiman penduduk dilanda banjir akibat air pasang yang tinggi, dan ini berakibat kerusakan fasilitas sosial dan ekonomi. Jika ini terjadi terus menerus maka akibatnya dapat mengancam sendi kehidupan masyarakat.

Menurut Ramlan (2002), di beberapa belahan dunia telah terjadi kenaikan suhu antara 1.4-5.8^oC dan kenaikan suhu 4^oC telah terjadi di Alaska, Siberia, dan sebagian Kanada bahkan di kota New York suhu mencapai 14^oC, jadi pemanasan global telah melanda daerah dingin. Bahkan bongkahan es sudah mulai meleleh di kutub utara dan selatan, semua disebabkan karena meningkatnya konsentrasi CO dan CO₂.

1.4.3 Dampak Pada Makhluk Hidup

Pemanasan global sangat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup, dimana temperatur panas dapat menyebabkan stres yang memicu tekanan darah dan penyakit jantung. Kegagalan tanaman dan kelaparan, yang merupakan akibat langsung dari pemanasan bumi, dapat menyebabkan penurunan daya tahan tubuh manusia terhadap virus dan infeksi. Lautan hangat dan perairan permukaan lainnya dapat menyebabkan wabah kolera parah dan infeksi berbahaya pada beberapa jenis makanan laut. Selain itu, ini adalah fakta yang mapan bahwa suhu yang lebih hangat menyebabkan dehidrasi yang merupakan penyebab utama batu ginjal (Shahzad & Riphah, 2015).

Punahnya berbagai jenis fauna. Flora dan fauna memiliki batas toleransi terhadap suhu, kelembaban, kadar air dan sumber makanan. Kenaikan suhu global menyebabkan terganggunya siklus air, kelembaban udara dan berdampak pada pertumbuhan tumbuhan sehingga menghambat laju produktivitas primer. Kondisi ini pun memberikan pengaruh habitat dan kehidupan fauna.

Habitat hewan berubah akibat perubahan faktor-faktor suhu, kelembaban dan produktivitas primer sehingga sejumlah hewan melakukan migrasi untuk menemukan habitat baru yang sesuai. Migrasi burung akan berubah disebabkan perubahan musim, arah dan kecepatan angin, arus laut (yang membawa nutrisi dan migrasi ikan).

1.5 Upaya Pencegahan dan Solusi Pemanasan Global

Berikut adalah tindakan sederhana yang dapat dilakukan untuk membantu mengurangi pemanasan global antara lain :

a) Pendirian Protokol Kyoto

Efek rumah kaca dan dampak yang ditimbulkan telah mendorong lahirnya Protokol Kyoto. Protokol ini telah disepakati pada Konferensi e-3 Negara-negara pihak dalam Konvensi Perubahan Iklim yang diselenggarakan di Kyoto, Jepang tanggal 11 Desember 1997 (Pawitro, 2016). Latar belakang tujuan

dibentuknya 'Protokol Kyoto' ini adalah kepentingan semua pihak (baik negara maju maupun Negara berkembang) untuk berupaya menurunkan emisi gas rumah kaca yang akan mengancam perubahan iklim secara global. Kesepakatan yang bersifat politis dalam berbagai bentuk kompromi pada akhirnya ditempuh dalam membuat kesepakatan bersama - terutama didalam menjembatani kesenjangan pandangan antara negara maju (Negara-negara industri) dengan negara sedang berkembang (negara-negara non-industri). Dalam perkembangannya, disepakati antara lain: target pada jumlah penurunan emisi gas rumah kaca secara global dan dasar arsitektur ekologis yang meliputi konsep pembangunan, konsep ekologi, menjaga kelestarian sumber daya alam dan mengurangi ketergantungan energi (listrik, gas dan air) (Pawitro, 2016).

b) *Reduce, Reuse, Recycle*

Mengurangi limbah dengan memilih produk yang dapat digunakan kembali. Kegiatan tersebut misalnya dengan melakukan daur ulang kertas, plastik, koran, kaca dan aluminium kaleng. Kegiatan mendaur ulang setengah dari sampah rumah tangga, diperkirakan dapat menghemat 2.400 pon karbon dioksida setiap tahunnya (Venkataramanan dan Smitha, 2011).

c) Mengurangi emisi berbahaya

Mengurangi penggunaan kendaraan yang menghasilkan emisi berbahaya. Ini belum banyak berhasil karena banyak orang menolak untuk mengurangi kebiasaan menggunakan mobil. Media cetak dan media sosial dapat memainkan peran efektif dalam mengendalikan masalah ini (Shahzad & Riphah, 2015). Mengurangi emisi gas tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sumber energi lain yang aman seperti, menggunakan energi matahari, air, angin, dan *bioenergy*. Di daerah tropis yang kaya akan energi matahari diharapkan muncul teknologi yang mampu menggunakan energi tersebut, misalnya dengan mobil tenaga surya, listrik tenaga surya. Sekarang ini sedang dikembangkan *bioenergy*, antara lain biji tanaman jarak (*Jathropa. sp*) yang menghasilkan minyak.

- d) Mengurangi pemakaian AC Ruang
- e) Menggunakan "Off" Switch"
Menghemat listrik dan mengurangi pemanasan global dengan mematikan lampu saat meninggalkan kamar, dan hanya menggunakan cahaya sebanyak yang diperlukan (Venkataramanan dan Smitha, 2011).
- f) Membuat injeksi gas CO dan CO₂ hasil cerobong asap industry ke dalam sumur minyak bumi, karena pada umumnya gas tersebut dapat diserap ke dalam bahan tambang yang mengandung Calsium (Ca) (Ramlan, 2005).
- g) Menanam pohon
Menanam pohon dapat mengurangi pemanasan global, karena selama fotosintesis, pohon dan tanaman lain akan menyerap karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen. Sebuah pohon tunggal diperkirakan akan menyerap 1 ton karbon dioksida selama masa hidupnya (Venkataramanan dan Smitha, 2011).

BAB II

AIR

2.1 Siklus Air/Siklus Hidrologi

2.1.1 Pengertian Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah salah satu dari 6 siklus biogeokimia yang berlangsung di bumi. Siklus hidrologi adalah suatu siklus atau sirkulasi air dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi yang berlangsung secara terus menerus. Siklus hidrologi memegang peran penting bagi kelangsungan hidup organisme bumi. Melalui siklus ini, ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga, mengingat teraturnya suhu lingkungan, cuaca, hujan, dan keseimbangan ekosistem bumi dapat tercipta karena proses siklus hidrologi ini. (Pasilli, 2015)

2.1.2 Proses Terjadinya Siklus Hidrologi

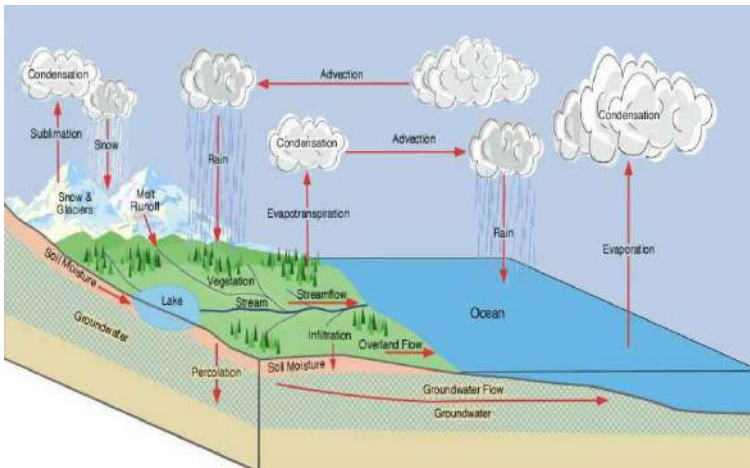
Adapun pada praktiknya, dalam siklus hidrologi ini air melalui beberapa tahapan seperti dijelaskan gambar 5. Tahapan proses terjadinya siklus hidrologi tersebut antara lain evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, sublimasi, kondensasi, adveksi, presipitasi, *run off*, dan infiltrasi. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing tahapan siklus tersebut (Tongasa, 2016).

a. Evaporasi

Siklus hidrologi diawali oleh terjadinya penguapan air yang ada di permukaan bumi. Air-air yang tertampung di badan air seperti danau, sungai, laut, sawah, bendungan atau waduk berubah menjadi uap air karena adanya panas matahari. Penguapan serupa juga terjadi pada air yang terdapat di

permukaan tanah. Penguapan semacam ini disebut dengan istilah evaporasi.

Evaporasi mengubah air berwujud cair menjadi air yang berwujud gas sehingga memungkinkan ia untuk naik ke atas atmosfer bumi. Semakin tinggi panas matahari (misalnya saat musim kemarau), jumlah air yang menjadi uap air dan naik ke atmosfer bumi juga akan semakin besar



Gambar 5. Siklus hidrologi

b. Transpirasi

Penguapan air di permukaan bumi bukan hanya terjadi di badan air dan tanah. Penguapan air juga dapat berlangsung di jaringan makhluk hidup, seperti hewan dan tumbuhan. Penguapan semacam ini dikenal dengan istilah transpirasi.

Sama seperti evaporasi, transpirasi juga mengubah air yang berwujud cair dalam jaringan makhluk hidup menjadi uap air dan membawanya naik ke atas menuju atmosfer. Akan tetapi, jumlah air yang menjadi uap melalui proses transpirasi umumnya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi.

c. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan air keseluruhan yang terjadi di seluruh permukaan bumi, baik yang terjadi pada badan air dan tanah, maupun pada jaringan makhluk hidup.

Evapotranspirasi merupakan gabungan antara evaporasi dan transpirasi. Dalam siklus hidrologi, laju evapotranspirasi ini sangat mempengaruhi jumlah uap air yang terangkut ke atas permukaan atmosfer.

d. Sublimasi

Selain lewat penguapan, baik itu melalui proses evaporasi, transpirasi, maupun evapotranspirasi, naiknya uap air dari permukaan bumi ke atas atmosfer bumi juga dipengaruhi oleh proses sublimasi.

Sublimasi adalah proses perubahan es di kutub atau di puncak gunung menjadi uap air tanpa melalui fase cair terlebih dahulu. Meski sedikit, sublimasi juga tetap berkontribusi terhadap jumlah uap air yang terangkut ke atas atmosfer bumi melalui siklus hidrologi panjang. Akan tetapi, dibanding melalui proses penguapan, proses sublimasi dikatakan berjalan sangat lambat.

e. Kondensasi

Ketika uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, dan proses sublimasi naik hingga mencapai suatu titik ketinggian tertentu, uap air tersebut akan berubah menjadi partikel-partikel es berukuran sangat kecil melalui proses kondensasi. Perubahan wujud uap air menjadi es tersebut terjadi karena pengaruh suhu udara yang sangat rendah di titik ketinggian tersebut. Partikel-partikel es yang terbentuk akan saling mendekati dan bersatu satu sama lain sehingga membentuk awan. Semakin banyak partikel es yang bergabung, awan yang terbentuk juga akan semakin tebal dan hitam.

f. Adveksi

Awan yang terbentuk dari proses kondensasi selanjutnya akan mengalami adveksi. Adveksi adalah proses perpindahan awan dari satu titik ke titik lain dalam satu horizontal akibat arus angin atau perbedaan tekanan udara. Adveksi memungkinkan awan akan menyebar dan berpindah dari atmosfer lautan menuju atmosfer daratan. Perlu diketahui bahwa, tahapan adveksi tidak terjadi pada siklus hidrologi pendek.

g. Presipitasi

Awan yang mengalami adveksi selanjutnya akan mengalami proses presipitasi. Proses presipitasi adalah proses mencairnya awan akibat pengaruh suhu udara yang tinggi. Pada proses inilah hujan terjadi. Butiran-butiran air jatuh dan membasahi permukaan bumi.

Apabila suhu udara di sekitar awan terlalu rendah hingga berkisar < 0 derajat Celcius, presipitasi memungkinkan terjadinya hujan salju. Awan yang mengandung banyak air akan turun ke litosfer dalam bentuk butiran salju tipis seperti yang dapat kita temui di daerah beriklim sub tropis.

h. Run Off

Setelah presipitasi terjadi sehingga air hujan jatuh ke permukaan bumi, proses run off pun terjadi. Run off atau limpasan adalah suatu proses pergerakan air dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah di permukaan bumi. Pergerakan air tersebut misalnya terjadi melalui saluran-saluran seperti saluran got, sungai, danau, muara, laut, hingga samudra. Dalam proses ini, air yang telah melalui siklus hidrologi akan kembali menuju lapisan hidrosfer.

i. Infiltrasi

Tidak semua air hujan yang terbentuk setelah proses presipitasi akan mengalir di permukaan bumi melalui proses run off. Sebagian kecil di antaranya akan bergerak ke dalam pori-pori tanah, merembes, dan terakumulasi menjadi air tanah. Proses pergerakan air ke dalam pori tanah ini disebut proses infiltrasi. Proses infiltrasi akan secara lambat membawa air tanah kembali ke laut.

Setelah melalui proses run off dan infiltrasi, air yang telah mengalami siklus hidrologi tersebut akan kembali berkumpul di lautan. Air tersebut secara berangsur-angsur akan kembali mengalami siklus hidrologi selanjutnya dengan diawali oleh proses evaporasi.

2.1.3 Macam Siklus Hidrologi

a. Siklus pendek / Siklus Kecil

Air laut yang menguap kemudian berubah menjadi uap gas karena terkena panas dari matahari). proses selanjutnya adalah terjadinya kondensasi dan pembentukan awan. setelah awan terbentuk dan menjadi terlalu berat akan turun hujan di permukaan laut

b. Siklus Sedang

Pertama-tama sama seperti siklus pendek air laut mengalami penguapan berubah wujud ke uap gas disebabkan panas dari energi matahari). Berlanjut dengan evaporasi. Uap air mengalami pergerakan terbawa oleh tiupan angin menuju darat. Di darat uap air yang terbawa angin berkumpul dan membentuk awan. Setelah awan terbentuk kemudian turun hujan di permukaan daratan. Air hujan akan mengisi sungai-sungai dan bergerak kembali menuju laut sebagai tempat kembali

c. Siklus Panjang / Siklus Besar

Tahap pertama sama untuk setiap siklus dimana air laut menjadi menguap berubah ke bentuk uap gas dipengaruhi oleh sinar matahari yang mengandung panas. Uap air kemudian akan mengalami sublimasi. terjadinya pembentukan awan yang berisi kristal es. Awan kemudian akan bergerak karena tertiuap angin menghampiri darat. Pembentukan awan. Dilanjutkan dengan turun salju. Kemudian gletser pun terbentuk. Gletser kemudian mencair yang membentuk aliran sungai. Air kemudian mengalir di sungai menuju darat dan berlanjut kembali menuju laut.

Dari uraian di atas perbedaan siklus air pendek, sedang, panjang terletak pada seberapa jauh proses yang dilalui oleh air dan lokasi tempat air kembali menuju laut.

2.2 Pencemaran Air

2.2.1 Definisi Pencemaran

Dari hari ke hari bila diperhatikan, makin banyak berita-berita mengenai pencemaran air. Pencemaran air ini terjadi dimana-

mana. Di Teluk Jakarta terjadi pencemaran yang sangat merugikan bagi petambak. Tidak saja udang dan bandeng yang mati, tapi kerang hijau pun turut mati pula, beberapa jenis spesies ikan telah hilang. Secara kimiawi, pencemaran yang terjadi di Teluk Jakarta tersebut telah sangat parah. Indikasinya populasi kerang hijau berkembang lebih cepat dan semakin banyak, padahal hewan ini merupakan indikator pecemar. Kadar logam antara lain seng, tembaga dan timbal telah mencapai ambang batas normal. Kondisi ini sangat berbahaya, karena logam berat dapat diserap oleh manusia atau hewan yang memakannya dan akan terjadi akumulasi (Republika, 17/02/03). Di Waduk Saguling juga terjadi pencemaran logam berat (merkuri) dan kadar H_2SO_4 yang tinggi, sehingga pencemaran ini sangat mempengaruhi ekonomi masyarakat sekitar, ribuan petani ikan mas jaring terapung di kawasan ini terancam gulung tikar karena produksi ikan turun terus (Pikiran Rakyat, 08/06/03). Selain itu, penggunaan pestisida yang berlebihan dan berlangsung lama, juga akan mengakibatkan pencemaran air. Sebagai contoh, hal ini terjadi di NTB yang terjadi pencemaran karena dampak pestisida dan limbah bakteri e-coli. Petani menggunakan pestisida di sekitar mata air Lingsar dan Ranget (Bali Post, 14/8/03).

Krisis air juga terjadi di hampir semua wilayah P. Jawa dan sebagian Sumatera, terutama kota-kota besar baik akibat pencemaran limbah cair industri, rumah tangga ataupun pertanian. Selain merosotnya kualitas air akibat pencemaran, krisis air juga terjadi dari berkurangnya ketersediaan air dan terjadinya erosi akibat pembabatan hutan di hulu serta perubahan pemanfaatan lahan di hulu dan hilir. Menyusutnya pasokan air pada 3 beberapa sungai besar di Kalimantan menjadi fenomena yang mengerikan, sungai-sungai tersebut mengalami pendangkalan akibat minimnya air pada saat kemarau serta ditambah erosi dan sedimentasi. Pendangkalan di S. Mahakam misalnya meningkat 300% selama kurun waktu 10 tahun terakhir (Air Kita Diracuni, 2004 dalam Warlina, 2004). Pencemaran air di banyak wilayah di Indonesia, seperti beberapa contoh di atas, telah mengakibatkan terjadinya krisis air bersih.

Lemahnya pengawasan pemerintah serta keenggannya untuk melakukan penegakan hukum secara benar menjadikan problem pencemaran air menjadi hal yang kronis yang makin lama makin parah.

Istilah pencemaran air atau polusi air dapat dipersepsikan berbeda oleh satu orang dengan orang lainnya mengingat banyak pustaka acuan yang merumuskan definisi istilah tersebut, baik dalam kamus atau buku teks ilmiah. Pengertian pencemaran air juga didefinisikan dalam Peraturan Pemerintah, sebagai turunan dari pengertian pencemaran lingkungan hidup yang didefinisikan dalam undang-undang. Dalam praktek operasionalnya, pencemaran lingkungan hidup tidak pernah ditunjukkan secara utuh, melainkan sebagai pencemaran dari komponen-komponen lingkungan hidup, seperti pencemaran air, pencemaran air laut, pencemaran air tanah dan pencemaran udara. Dengan demikian, definisi pencemaran air mengacu pada definisi lingkungan hidup yang ditetapkan dalam UU tentang lingkungan hidup yaitu UU No. 23/1997 (Warlina, 2004).

Dalam PP No. 20/1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air didefinisikan sebagai : "pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya" (Pasal 1, angka 2). Definisi pencemaran air tersebut dapat diuraikan sesuai makna pokoknya menjadi 3 (tiga) aspek, yaitu aspek kejadian, aspek penyebab atau pelaku dan aspek akibat (Setiawan, 2001 dalam Warlina, 2004).

Pencemaran adalah suatu penyimpangan dari keadaan normalnya. Jadi pencemaran air adalah suatu keadaan air tersebut telah mengalami penyimpangan dari keadaan normalnya. Keadaan normal air masih tergantung pada faktor penentu, yaitu kegunaan air itu sendiri dan asal sumber air (Wardhana, 1995 dalam Puspitasari, 2009).

Berdasarkan definisi pencemaran air, penyebab terjadinya pencemaran dapat berupa masuknya makhluk hidup, zat, energi atau

komponen lain ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air tercemar (Warlina, 2004). Masukan tersebut sering disebut dengan istilah unsur pencemar, yang pada prakteknya masukan tersebut berupa buangan yang bersifat rutin, misalnya buangan limbah cair. Aspek pelaku/penyebab dapat yang disebabkan oleh alam, atau oleh manusia. Pencemaran yang disebabkan oleh alam tidak dapat berimplikasi hukum, tetapi Pemerintah tetap harus menanggulangi pencemaran tersebut. Sedangkan aspek akibat dapat dilihat berdasarkan penurunan kualitas air sampai ke tingkat tertentu. Pengertian tingkat tertentu dalam definisi tersebut adalah tingkat kualitas air yang menjadi batas antara tingkat tak-cemar (tingkat kualitas air belum sampai batas) dan tingkat cemar (kualitas air yang telah sampai ke batas atau melewati batas)(Warlina, 2004). Ada standar baku mutu tertentu untuk peruntukan air. Sebagai contoh adalah pada UU Kesehatan No. 23 tahun 1992 ayat 3 terkandung makna bahwa air minum yang dikonsumsi masyarakat, harus memenuhi persyaratan kualitas maupun kuantitas, yang persyaratan kualitas tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 146 tahun 1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air. Sedangkan parameter kualitas air minum/air bersih yang terdiri dari parameter kimiawi, fisik, radioaktif dan mikrobiologi, ditetapkan dalam PERMENKES 416/1990 (Achmadi, 2001 dalam Warlina 2004). Air yang aman adalah air yang sesuai dengan kriteria bagi peruntukan air tersebut. Misalnya kriteria air yang dapat diminum secara langsung (air kualitas A) mempunyai kriteria yang berbeda dengan air yang dapat digunakan untuk air baku air minum (kualitas B) atau air kualitas C untuk keperluan perikanan dan peternakan dan air kualitas D untuk keperluan pertanian serta usaha perkotaan, industri dan pembangkit tenaga air.

2.2.2 Indikator Pencemaran Air

Indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati yang dapat digolongkan menjadi (Warlina, 2004) :

- a. Pengamatan secara fisis, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan tingkat kejernihan air (kekeruhan), perubahan suhu, warna dan adanya perubahan warna, bau dan rasa
- b. Pengamatan secara kimiawi, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan zat kimia yang terlarut, perubahan pH
- c. Pengamatan secara biologis, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan mikroorganisme yang ada dalam air, terutama ada tidaknya bakteri patogen.

Indikator yang umum diketahui pada pemeriksaan pencemaran air adalah pH atau konsentrasi ion hydrogen, oksigen terlarut (Dissolved Oxygen, DO), kebutuhan oksigen biokimia (Biochemiykal Oxygen Demand, BOD) serta kebutuhan oksigen kimiawi (Chemical Oxygen Demand, COD).

2.2.3 Macam Pencemar Air

Pencemar air dapat menentukan indikator yang terjadi pada air lingkungan. Pencemar air dikelompokkan sebagai berikut (Harmayani & Konsukartha, 2007):

- a. Bahan buangan organik. Bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga hal ini dapat mengakibatkan semakin berkembangnya mikroorganisme dan mikroba patogen pun ikut juga berkembang biak di mana hal ini dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit.
- b. Bahan buangan anorganik. Bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan anorganik ini masuk ke air lingkungan maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air, sehingga hal ini dapat mengakibatkan air menjadi bersifat sadah karena mengandung ion kalsium (Ca) dan ion magnesium (Mg). Selain itu ion-ion tersebut dapat bersifat racun seperti timbal (Pb), arsen (As) dan air raksa (Hg) yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia.
- c. Bahan buangan zat kimia. Bahan buangan zat kimia banyak ragamnya seperti bahan pencemar air yang berupa sabun, bahan

pemberantas hama, zat warna kimia, larutan penyamak kulit dan zat radioaktif. Zat kimia ini di air lingkungan merupakan racun yang mengganggu dan dapat mematikan hewan air, tanaman air dan mungkin juga manusia.

- d. Limbah. Limbah adalah zat, energi, dan atau komponen lain yang dikeluarkan atau dibuang akibat sesuatu kegiatan baik industri maupun non-industri (Peraturan Daerah Propinsi Daerah Tingkat I Bali, 1988). · Buangan industri adalah bahan buangan sebagai hasil sampingan dari proses produksi industri yang dapat berbentuk benda padat, cair maupun gas yang dapat menimbulkan pencemaran. · Buangan non-industri adalah bahan buangan sebagai hasil sampingan bukan dari industri, melainkan berasal dari rumah tangga, kantor, restoran, tempat hiburan, pasar, pertokoan, rumah sakit dan lain-lain yang dapat menimbulkan pencemaran.

Limbah yang dihasilkan oleh suatu kegiatan baik industri maupun nonindustri dapat menimbulkan gas yang berbau busuk misalnya H₂S dan amonia akibat dari proses penguraian material-material organik yang terkandung di dalamnya. Selain itu, limbah dapat juga mengandung organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Karena itu, pengolahan limbah sangat dibutuhkan agar tidak mencemari lingkungan.

2.2.4 Dampak Pencemaran Air

Apabila komponen penyebab yang disebutkan diatas terus menerus dibiarkan, pencemaran air akan mengakibatkan berbagai efek negatif seperti yang akan disampaikan berikut ini (Harmayani & Konsukartha, 2007):

a. Kerusakan Ekosistem dan Organisme Air

Berbagai zat berbahaya yang mengkontaminasi air akan membuat kandungan oksigen di air menjadi berkurang drastis. Padahal, oksigen ini sangat diperlukan ekosistem air agar terus berlangsung. Bisa dibayangkan bagaimana kehidupan mikroorganisme air jika lingkungan air tercemar dan oksigen di

dalamnya berkurang. Mereka bisa terganggu, rusak, atau bahkan mati.

b. Munculnya Parasit Air

Ekosistem air yang rusak akan digantikan oleh tumbuhan air seperti ganggang atau lainnya yang bersifat parasit. Hal ini tentu akan kurang menguntungkan penduduk yang memanfaatkan lingkungan air tersebut untuk mencari ikan atau lainnya.

c. Berkurangnya Volume Air

Akibat yang satu ini merupakan efek yang bisa terjadi apabila limbah anaerob atau limbah padat yang sulit terurai semakin menumpuk. Contohnya bisa berupa sungai yang sering dijadikan sebagai tempat membuang sampah. Sampah yang menumpuk dan mengendap di dasar sungai akan membuat volume air yang bisa ditampung menjadi berkurang. Apabila membludak, hal ini bisa menyebabkan bencana seperti banjir, erosi, tanah longsor, dan sebagainya.

d. Resiko Penyakit

Apabila air pada sungai atau sumber lainnya tercemar namun tetap dikonsumsi, akan ada efek yang terjadi akibat konsumsi jangka panjang. Mereka yang mengonsumsi air yang tercemar tersebut akan memiliki resiko lebih tinggi untuk terkena gangguan kesehatan. Bahkan, hal ini juga bisa beresiko pada cacatnya bayi yang baru lahir.

e. Kurangnya Pasokan Air Bersih

Karena sumber air tercemar, masyarakat sekitar otomatis akan membutuhkan pasokan air bersih dari sumber lainnya. Apabila ada banyak tempat atau lokasi yang membutuhkan pasokan sumber air bersih, penyedia air bersih yang sedikit tentu akan mengalami kekurangan pasokan. Hal ini secara tidak langsung mengakibatkan kurang terpenuhinya kebutuhan air sehari-hari.

2.2.5 Penanggulangan Pencemaran

Pengendalian/penanggulangan pencemaran air di Indonesia telah diatur melalui Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas dan Pengendalian Pencemaran Air. Secara umum hal ini meliputi pencemaran air baik oleh instansi ataupun non-instansi. Salah satu upaya serius yang telah dilakukan Pemerintah dalam pengendalian pencemaran air adalah melalui Program Kali Bersih (PROKASIH).

Penanggulangan dilakukan secara teknis dan non-teknis (Imansyah, 2012). Penanggulangan teknis secara garis besar adalah dengan mengurangi penggunaan bahan pencemar (*reduce*), menggunakan kembali barang untuk kegunaan yang sama (*reuse*), dan atau melakukan daur ulang barang (*recycle*) (Setiawan, 2001).

Masih banyak lagi langkah yang dapat dilakukan seperti :

- a. Menempatkan daerah industri atau pabrik jauh dari badan air dan pemukiman Setiap industri atau pabrik harus mempunyai fasilitas Instalasi Penjernihan Air Limbah (IPAL) atau Unit Pengolahan Limbah (UPL) sehingga limbah yang dibuang tidak mengurangi kualitas perairan.
- b. Pembuangan limbah industri diatur sehingga tidak mencemari badan air
- c. Pengawasan terhadap pengelola limbah industri
- e. Tindakan tegas terhadap perilaku pencemaran air dan sanksi hukum bagi perusahaan yang sengaja membuang limbah tanpa diolah dahulu.
- f. Limbah industri yang mengandung unsur logam dapat diatasi dengan menanam tumbuhan sejenis alang-alang disekitar tempat pembuangan limbah. Dan lain sebagainya. Yang mana diatur dalam penanggulangan non-teknis.

Penanggulangan secara non-teknis yaitu suatu usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan industri dan teknologi sehingga tidak terjadi pencemaran (Herymiati, 2011). Peraturan perundangan ini hendaknya dapat memberikan gambaran secara

jelas tentang kegiatan industri yang akan dilaksanakan, misalnya meliputi AMDAL, pengaturan dan pengawasan kegiatan dan menanamkan perilaku disiplin. Sedangkan penanggulangan secara teknis bersumber pada perlakuan industri terhadap perlakuan buangnya, misalnya dengan mengubah proses, mengelola limbah atau menambah alat bantu yang dapat mengurangi pencemaran.

Adapun peraturan perundang-undangan yang mengatur tentang penanggulangan pencemaran air yang lain adalah sebagai berikut.

1. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 92/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
2. PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air, Pengendalian Pencemaran Air.
3. KepMen LH No. Kep-35/MenLH/7/ 1995 tentang Program Kali Bersih (PROKASIH).
4. KepMen LH No. Kep-35A/ MenLH /7/ 1995 tentang Program Penilaian Kinerja Perusahaan/ Kegiatan Usaha Dalam Pengendalian Pencemaran di Lingkup Kegiatan PROKASIH (Proper Prokasih).
5. KepMen LH No. 51/MenLH/10/ 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
6. KepMen LH No. 52/MENLH/10/ 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Hotel.
7. KepMen LH No. 58/MENLH/10/ 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.
8. KepMen LH No. 09/MENLH/4/ 1997 tentang Perubahan KepMen LH No. 42 Tahun 1996 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Minyak dan Gas Serta Panas Bumi.
9. KepMen LH No. 03/MENLH/1/1998 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri.
10. KepMen LH No. 28 Tahun 2003 tentang Pedoman Teknis Pengkajian Pemanfaatan Air Limbah dan Industri Minyak Sawit Pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit.

11. KepMen LH No. 29 Tahun 2003 tentang Pedoman Syarat dan Tata Cara Perizinan Pemanfaatan Air.
12. KepMen LH No. 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air.
13. KepMen LH No. 111 Tahun 2003 tentang Pedoman Mengenai Syarat dan Tata Cara Perizinan Serta Pedoman Kajian Pembuangan Air Limbah ke Air atau Sumber Air.
14. KepMen LH No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
15. KepMen LH No. 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara.
16. KepMen LH No. 114 Tahun 2003 tentang Pedoman Pengkajian tentang Pedoman Pengkajian Untuk Menetapkan Kelas Air.
17. KepMen LH No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
18. KepMen LH No. 142 Tahun 2003 tentang Perubahan KepMen LH No. 111 Tahun 2003 tentang Pedoman Mengenai Syarat dan Tata Cara Perizinan Serta Pedoman Kajian Pembuangan Air Limbah ke Air atau Sumber Air.
19. Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.

TANAH

3.1 Pengertian Tanah

Menurut soil survey staff (1975) tanah adalah kumpulan tubuh alami pada permukaan bumi yang dapat berubah atau dibuat oleh manusia dari penyusunnya yang meliputi bahan organik yang sesuai bagi perkembangan akar tanaman. Di bagian atas dibatasi oleh udara atau air yang dangkal, ke samping dapat dibatasi oleh air yang dalam atau bahkan hamparan es atau batuan, sedangkan bagian bawah dibatasi oleh suatu materi yang tidak dapat disebut tanah yang sulit didefinisikan. Ukuran terkecilnya 1 sampai 10 m² tergantung pada keragaman horisonnya.

3.2 Pengertian Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah adalah keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena: kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial; penggunaan pestisida; masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan; kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, zat kimia, atau limbah; air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat (illegal dumping).

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 150 tahun 2000 tentang Pengendalian kerusakan tanah untuk produksi bio massa: "Tanah adalah salah satu komponen lahan berupa lapisan teratas kerak bumi yang terdiri dari bahan mineral dan bahan organik serta

mempunyai sifat fisik, kimia, biologi, dan mempunyai kemampuan menunjang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.”

Tetapi apa yang terjadi, akibat kegiatan manusia, banyak terjadi kerusakan tanah. Di dalam PP No. 150 th. 2000 di sebutkan bahwa “Kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kerusakan tanah”.

Ketika suatu zat berbahaya/beracun telah mencemari permukaan tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan dan atau masuk ke dalam tanah. Pencemaran yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun di tanah tersebut dapat berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya.

3.3 Sumber Pencemaran Tanah

Sumber pencemar tanah, karena pencemaran tanah tidak jauh beda atau bisa dikatakan mempunyai hubungan erat dengan pencemaran udara dan pencemaran air, maka sumber pencemar udara dan sumber pencemar air pada umumnya juga merupakan sumber pencemar tanah.

Sebagai contoh gas-gas oksida karbon, oksida nitrogen, oksida belerang yang menjadi bahan pencemar udara yang larut dalam air hujan dan turun ke tanah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam sehingga menimbulkan terjadinya pencemaran pada tanah.

Air permukaan tanah yang mengandung bahan pencemar misalnya tercemari zat radioaktif, logam berat dalam limbah industri, sampah rumah tangga, limbah rumah sakit, sisa-sisa pupuk dan pestisida dari daerah pertanian, limbah deterjen, akhirnya juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah daerah tempat air permukaan ataupun tanah daerah yang dilalui air permukaan tanah yang tercemar tersebut. Maka sumber bahan pencemar tanah dapat dikelompokkan juga menjadi sumber pencemar yang berasal dari, sampah rumah tangga, sampah pasar,

sampah rumah sakit, gunung berapi yang meletus / kendaraan bermotor dan limbah industri.

3.4 Komponen-Komponen Bahan Pencemaran Tanah

3.4.1 Limbah domestik

Limbah domestik dapat berasal dari daerah: pemukiman penduduk; perdagang-an/pasar/tempat usaha hotel dan lain-lain; kelembagaan misalnya kantor-kantor pemerintahan dan swasta; dan wisata, dapat berupa limbah padat dan cair.

1. Limbah padat berupa senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan atau diuraikan oleh mikroorganisme seperti plastik, serat, keramik, kaleng-kaleng dan bekas bahan bangunan, menyebabkan tanah menjadi kurang subur. Bahan pencemar itu akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang. Bungkus plastik yang kita buang ke lingkungan akan tetap ada dan mungkin akan ditemukan oleh anak cucu kita setelah ratusan tahun kemudian.

Sampah anorganik tidak ter-biodegradasi, yang menyebabkan lapisan tanah tidak dapat ditembus oleh akar tanaman dan tidak tembus air sehingga peresapan air dan mineral yang dapat menyuburkan tanah hilang dan jumlah mikroorganisme di dalam tanahpun akan berkurang akibatnya tanaman sulit tumbuh bahkan mati karena tidak memperoleh makanan untuk berkembang.

2. Limbah cair berupa; tinja, deterjen, oli, cat, jika meresap kedalam tanah akan merusak kandungan air tanah bahkan dapat membunuh mikro-organisme di dalam tanah.

3.4.2 Limbah Industri

Limbah Industri berasal dari sisa-sisa produksi industri. .

1. Limbah industri berupa limbah padat yang merupakan hasil buangan industri berupa padatan, lumpur, bubur yang berasal dari proses pengolahan. Misalnya sisa pengolahan pabrik gula, pulp, kertas, rayon, plywood, pengawetan buah, ikan daging dll.

2. Limbah cair yang merupakan hasil pengolahan dalam suatu proses produksi, misalnya sisa-sisa pengolahan industri pelapisan logam dan industri kimia lainnya. Tembaga, timbal, perak, khrom, arsen dan boron adalah zat-zat yang dihasilkan dari proses industri pelapisan logam seperti Hg, Zn, Pb, Cd dapat mencemari tanah. Merupakan zat yang sangat beracun terhadap mikroorganismenya. Jika meresap ke dalam tanah akan mengakibatkan kematian bagi mikroorganismenya yang memiliki fungsi sangat penting terhadap kesuburan tanah.

3.4.3 Limbah Pertanian

Limbah pertanian dapat berupa sisa-sisa pupuk sintetik untuk menyuburkan tanah atau tanaman, misalnya pupuk urea dan pestisida untuk pemberantas hama tanaman. Penggunaan pupuk yang terus menerus dalam pertanian akan merusak struktur tanah, yang menyebabkan kesuburan tanah berkurang dan tidak dapat ditanami jenis tanaman tertentu karena hara tanah semakin berkurang. Dan penggunaan pestisida bukan saja mematikan hama tanaman tetapi juga mikroorganismenya yang berguna di dalam tanah. Padahal kesuburan tanah tergantung pada jumlah organisme di dalamnya. Selain itu penggunaan pestisida yang terus menerus akan mengakibatkan hama tanaman kebal terhadap pestisida tersebut

3.4.4 Dampak Yang Ditimbulkan Akibat Pencemaran Tanah

Berbagai dampak ditimbulkan akibat pencemaran tanah, diantaranya:

1. Pada kesehatan

Dampak pencemaran tanah terhadap kesehatan tergantung pada tipe polutan, jalur masuk ke dalam tubuh dan kerentanan populasi yang terkena. Kromium, berbagai macam pestisida dan herbisida merupakan bahan karsinogenik untuk semua populasi. Timbal sangat berbahaya pada anak-anak, karena dapat menyebabkan kerusakan otak, serta kerusakan ginjal pada seluruh populasi.

Paparan kronis (terus-menerus) terhadap benzena pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kemungkinan terkena leukemia. Merkuri (air raksa) dan siklodiena dikenal dapat menyebabkan kerusakan ginjal, beberapa bahkan tidak dapat diobati. PCB dan siklodiena terkait pada keracunan hati. Organofosfat dan karmabat dapat menyebabkan gangguan pada saraf otot. Berbagai pelarut yang mengandung klorin merangsang perubahan pada hati dan ginjal serta penurunan sistem saraf pusat. Terdapat beberapa macam dampak kesehatan yang tampak seperti sakit kepala, pusing, letih, iritasi mata dan ruam kulit untuk paparan bahan kimia yang disebut di atas. Yang jelas, pada dosis yang besar, pencemaran tanah dapat menyebabkan Kematian.

2. Pada Ekosistem

Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Akibatnya bahkan dapat memusnahkan beberapa spesies primer dari rantai makanan, yang dapat memberi akibat yang besar terhadap predator atau tingkatan lain dari rantai makanan tersebut. Bahkan jika efek kimia pada bentuk kehidupan terbawah tersebut rendah, bagian bawah piramida makanan dapat menelan bahan kimia asing yang lama-kelamaan akan terkonsentrasi pada makhluk-makhluk penghuni piramida atas. Banyak dari efek-efek ini terlihat pada saat ini, seperti konsentrasi DDT pada burung menyebabkan rapuhnya cangkang telur, meningkatnya tingkat Kematian anakan dan kemungkinan hilangnya spesies tersebut.

Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan dampak lanjutan pada konservasi tanaman di mana tanaman tidak mampu menahan lapisan tanah dari erosi. Beberapa bahan pencemar ini

memiliki waktu paruh yang panjang dan pada kasus lain bahan-bahan kimia derivatif akan terbentuk dari bahan pencemar tanah utama.

3.4.5 Penanganan Pencemaran Tanah

Ada 2 cara untuk penanganan pencemaran tanah

1. Remediasi

Remediasi adalah kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah yang tercemar. Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu in-situ (atau on-site) dan ex-situ (atau off-site). Pembersihan on-site adalah pembersihan di lokasi. Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, venting (injeksi), dan bioremediasi.

Pembersihan off-site meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman. Setelah itu di daerah aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya yaitu, tanah tersebut disimpan di bak/tanki yang kedap, kemudian zat pembersih dipompakan ke bak/tanki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolah air limbah. Pembersihan off-site ini jauh lebih mahal dan rumit.

2. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses pembersihan pencemaran tanah dengan menggunakan mikroorganisme (jamur, bakteri). Bioremediasi bertujuan untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (karbon dioksida dan air).

3.5 Pencegahan Pencemaran Tanah

Tindakan pencegahan dan tindakan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan macam bahan pencemar yang perlu ditanggulangi. Pada umumnya langkah pencegahan adalah berusaha untuk tidak menyebabkan terjadinya pencemaran,

misalnya mengurangi terjadinya bahan pencemar, langkah pencegahan itu antara lain:

1. Sampah organik yang dapat membusuk/diuraikan oleh mikroorganisme antara lain dapat dilakukan dengan mengukur sampah-sampah dalam tanah secara tertutup dan terbuka, kemudian dapat diolah sebagai kompos/pupuk.
2. Sampah senyawa organik atau senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan oleh mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara membakar sampah-sampah yang dapat terbakar seperti plastik dan serat baik secara individual maupun dikumpulkan pada suatu tempat yang jauh dari pemukiman, sehingga tidak mencemari udara daerah pemukiman. Sampah yang tidak dapat dibakar dapat digiling/dipotong-potong menjadi partikel-partikel kecil, kemudian dikubur.
3. Pengolahan terhadap limbah industri yang mengandung logam berat yang akan mencemari tanah, sebelum dibuang ke sungai atau ke tempat pembuangan agar dilakukan proses pemurnian.
4. Penggunaan pupuk, pestisida tidak digunakan secara sembarangan namun sesuai dengan aturan dan tidak sampai berlebihan.
5. Usahakan membuang dan memakai detergen berupa senyawa organik yang dapat dimusnahkan/diuraikan oleh mikroorganisme.
6. Sampah zat radioaktif sebelum dibuang, disimpan dahulu pada sumur-sumur atau tangki dalam jangka waktu yang cukup lama sampai tidak berbahaya, baru dibuang ke tempat yang jauh dari pemukiman, misal pulau karang, yang tidak berpenghuni atau ke dasar lautan yang sangat dalam.

3.6 Penanggulangan Komponen Bahan Pencemaran Tanah

Apabila pencemaran telah terjadi, maka perlu dilakukan penanggulangan terhadap pencemara tersebut. Tindakan penanggulangan pada prinsipnya mengurangi bahan pencemar tanah atau mengolah bahan pencemar atau mendaur ulang menjadi bahan yang bermanfaat. Tanah dapat berfungsi sebagaimana

mestinya, tanah subur adalah tanah yang dapat ditanami dan terdapat mikroorganisme yang bermanfaat serta tidak punahnya hewan tanah. Langkah tindakan penanggulangan yang dapat dilakukan antara lain dengan cara:

- a. Sampah-sampah organik yang tidak dapat dimusnahkan (berada dalam jumlah cukup banyak) dan mengganggu kesejahteraan hidup serta mencemari tanah, agar diolah atau dilakukan daur ulang menjadi barang-barang lain yang bermanfaat, misal dijadikan mainan anak-anak, dijadikan bahan bangunan, plastik dan serat dijadikan kesed atau kertas karton didaur ulang menjadi tisu, kaca-kaca di daur ulang menjadi vas kembang, plastik di daur ulang menjadi ember dan masih banyak lagi cara-cara pendaur ulang sampah.
- b. Bekas bahan bangunan (seperti keramik, batu-batu, pasir, kerikil, batu bata, berangkal) yang dapat menyebabkan tanah menjadi tidak/kurang subur, dikubur dalam sumur secara berlapis-lapis yang dapat berfungsi sebagai resapan dan penyaringan air, sehingga tidak menyebabkan banjir, melainkan tetap berada di tempat sekitar rumah dan tersaring. Resapan air tersebut bahkan bisa masuk ke dalam sumur dan dapat digunakan kembali sebagai air bersih.
- c. Hujan asam yang menyebabkan pH tanah menjadi tidak sesuai lagi untuk tanaman, maka tanah perlu ditambah dengan kapur agar pH asam berkurang.
- d. Sedangkan sampah anorganik yang tidak dapat diurai oleh mikroorganisme. Cara penanganan yang terbaik dengan mendaur ulang sampah-sampah menjadi barang-barang yang mungkin bisa dipakai atau juga bisa dijadikan hiasan dinding. Limbah industri, cara penanggulangannya yaitu dengan cara mengolah limbah tersebut sebelum dibuang kesungai atau kelaut. Limbah pertanian, yaitu dengan cara mengurangi penggunaan pupuk sintetis dan berbagai bahan kimia untuk pemberantasan hama seperti pestisida diganti dengan penggunaan pupuk kompos.

Dengan melakukan tindakan pencegahan dan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran lingkungan hidup (pencemaran udara, pencemaran air dan pencemaran tanah) berarti kita melakukan pengawasan, pengendalian, pemulihan, pelestarian dan pengembangan terhadap pemanfaatan lingkungan) udara, air dan tanah) yang telah disediakan dan diatur oleh Allah sang pencipta, dengan demikian berarti kita mensyukuri anugerah-Nya.

3.7 Tanah Tercemar dan Tidak Tercemar

3.7.1 Tanah Tercemar

Tanah Indonesia terkenal dengan kesuburannya. Hingga dalam sejarah Indonesia pernah tercatat. Kesuburan itu telah mengundang para penjajah asing untuk mengeksploitasinya. Fenomena sekarang lain lagi. Sebagian tanah Indonesia tercemar oleh polusi yang diakibatkan oleh kelainan masyarakat. Pencemaran ini menjadikan tanah rusak dan hilang kesuburannya, mengandung zat asam tinggi. Berbau busuk, kering, mengandung logam berat, dan sebagainya. Kalau sudah begitu maka tanah akan sulit untuk dimanfaatkan. Dari pernyataan diatas, bisa ditarik kesimpulan bahwa ciri-ciri tanah tercemar adalah :

- a. Tanah tidak subur
- b. pH dibawah 6 (tanah asam) atau pH diatas 8 (tanah basa)
- c. Berbau busuk
- d. Kering
- e. Mengandung logam berat
- f. Mengandung sampah anorganik

3.7.2 Tanah Tidak Tercemar

Tanah yang tidak tercemar adalah tanah yang masih memenuhi unsur dasarnya sebagai tanah. Ia tidak mengandung zat-zat yang merusak keharaanya. Tanah tidak tercemar bersifat subur, tidak berbau busuk, tingkat keasaman normal. Yang paling utama adalah tidak mengandung logam berat. Tanah yang tidak tercemar besar potensinya untuk alat kemaslahatan umat manusia. Pertanian

dengan tanah yang baik bisa mendatangkan keuntungan berlipat ganda. Dari pernyataan diatas, bisa ditarik kesimpulan bahwa ciri-ciri tanah tercemar adalah :

- a. Tanahnya subur
- b. Trayek pH minimal 6, maksimal 8
- c. Tidak berbau busuk
- d. tidak kering, memiliki tingkat kegemburan yang normal
- e. Tidak Mengandung logam berat
- f. Tidak mengandung sampah anorganik

BAB IV

UDARA

4.1 Pengertian Udara

U dara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya (Sugiarti, 2009).

Udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat dalam lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida (CO₂) (Fardiaz, 1992).

4.2 Siklus Udara



Gambar 6. Variasi suhu udara terhadap jarak

Udara merupakan campuran gas yang melingkupi permukaan bumi karena gaya gravitasi. Massa seluruh udara yang ada di muka bumi adalah sekitar $5,2 \cdot 10^{21}$ gram (g), dan udara tersebar pada permukaan bumi seluas $5,1 \cdot 10^{18}$ sentimeter persegi (cm^2). Setiap 1 cm^2 permukaan tanah diselimuti oleh sekitar 1 kilogram (kg) udara. Sekitar 99,99 % udara berada pada ketinggian sampai 80 kilometer (km) dari permukaan bumi, dan sekitar separuhnya berada pada ketinggian antara 3 sampai 5 km. Udara pada ketinggian sampai 5 km inilah yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup. Massa, kerapatan, dan tekanan menurun secara tajam dengan semakin jauhnya jarak udara dari permukaan bumi. Suhu udara turun menjadi -70 oC pada ketinggian sekitar 10 sampai 12 km, kemudian naik lagi secara mencolok hingga mencapai 0 oC pada ketinggian 50 km, setelah itu turun drastis menjadi -100 oC pada ketinggian 80 km, dan naik terus sejalan dengan semakin jauhnya dari permukaan bumi. Variasi suhu udara terhadap jaraknya dari permukaan bumi membagi atmosfer menjadi 4 lapisan (Gambar 6). Troposfer merupakan lapisan yang secara langsung berpengaruh terhadap perubahan cuaca dan iklim, dan lapisan ini sangat penting bagi kehidupan di bumi (Prodjosantoso, 2011).

4.3 Pengertian dan Proses Terjadinya Pencemaran Udara

Komposisi udara bersih dan kering pada permukaan air laut dapat dilihat pada Tabel 1. Konsentrasi uap air di udara berkisar antara 0,1 sampai 5 %, atau rata-rata sekitar 3,1 %. Air juga berisi aerosol, yaitu partikel padat atau cair yang terdiri dari berbagai molekul dengan diameter beberapa mikrometer ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Pada keadaan normal, udara bermuatan negatif. Secara alami, muatan negatif berasal dari interaksi antara uap air atau butiran air hujan dengan sinar matahari, dan atau halilintar. Oksigen dari proses fotosintesis pada tumbuhan juga bermuatan negatif (Prodjosantoso, 2011).

Aktifitas manusia dapat mengganggu proses-proses alam. Proses pembakaran bahan bakar berlangsung cepat dan menghasilkan suhu tinggi. Proses pembusukan dan respirasi

merupakan proses alami yang berlangsung lambat dan pada suhu rendah. Gas dan partikulat yang dihasilkan pada proses yang dilakukan manusia dapat mengganggu alam. Bahan-bahan ini akan menjadi polutan jika konsentrasinya relatif tinggi sehingga proses penghilangannya tidak secepat proses pembentukannya (Prodjosantoso, 2011).

Senyawa-senyawa yang termasuk sebagai polutan udara diantaranya: partikulat, oksida belerang, karbon monoksida, oksida nitrogen, hidrokarbon, oksidan fotokimia, hidrogen sulfida, logam berat, dan asbestos (Manahan, 1990). Setiap polutan mempunyai sifat yang unik, dan berbeda dengan sifat polutan lainnya.

Beberapa polutan dihasilkan oleh industri-industri tertentu, seperti klorin (Cl₂), hidrogen klorida (HCl), hidrogen fluorida (HF), dan asam sulfat (H₂SO₄). Gas-gas tersebut beracun dan korosif. Bau, kebisingan, mikroorganisme, dan radiasi adalah polutan bentuk lainnya (Prodjosantoso, 2011).

Tabel 1. Komposisi udara bersih (Hanwant B., 1995)

Gas	% volume
Nitrogen (N ₂)	78,09
Oksigen (O ₂)	20,94
Argon (Ar)	0,93
Karbon dioksida (CO ₂)	0,00332
Neon (Ne)	0,0018
Helium (He)	0,00052
Kripton (Kr)	0,0001
Hidrogen (H)	0,00005
Ksenon (Xe)	0,000008
<i>Kategori polutan</i>	
Metana (CH ₄)	0,00015
Dinitrogen oksida (N ₂ O)	0,000033
Karbon monoksida (CO)	0,00001
Ozon (O ₃)	0,000002
Amoniak (NH ₃)	0,000001
Nitrogen dioksida (NO ₂)	0,0000001
Belerang dioksida (SO ₂)	0,00000002

Udara yang terpolusi berpengaruh buruk terhadap lingkungan. Akibat buruk udara kotor dapat dialami manusia, hewan, tanaman, dan material tertentu. Partikulat dapat menyebabkan akibat buruk tambahan, yaitu dapat mengurangi daya tembus sinar matahari yang akan menyebabkan penurunan suhu bumi sebagai akibat pemantulan kembali sinar matahari oleh partikulat (Prodjosantoso, 2011).

Secara umum polutan dapat menyebabkan udara bermuatan positif (Hemat, 2006). Ion positif menghambat gerakan bulu getar dan menyebabkan peningkatan viskositas permukaan tenggorokan. Peningkatan viskositas menyebabkan berkurangnya sensitifitas tenggorokan dan menurunnya kemampuan bagian tubuh kita tersebut untuk menolak partikulat sehingga partikulat sulit untuk keluar dari tenggorokan. Ion positif juga dapat menyebabkan kecemasan, depresi, dan lemah mental. Polutan udara tidak hanya bersifat toksik, tetapi juga dapat melemahkan mekanisme daya tahan tubuh. Toksisitas terhadap manusia hanya merupakan salah satu aspek dari masalah polusi lingkungan. Aspek lain yang mungkin lebih penting adalah kemampuan polutan dalam hal perubahan iklim global (Prodjosantoso, 2011).

Polusi udara oleh oksida belerang, misalnya, dapat berpengaruh buruk terhadap tanaman yang peka terhadap SO_x , yaitu menyebabkan kematian, atau kekeringan pada batang dan daun tanaman (Pani, 2007). Perubahan ini menyebabkan berkurangnya jumlah dan jenis nutrisi untuk hewan dan organisme yang hidup di daerah tertentu. Akhirnya, ekosistem yang kompleks kehilangan beberapa spesies tanaman dan hewan sehingga ekosistem menjadi lebih sederhana (Prodjosantoso, 2011).

Oksida belerang dan nitrogen dapat berubah menjadi asam yang secara langsung dapat berpengaruh buruk terhadap kehidupan tanaman dan hewan. Sejumlah asam tersebut dapat hilang dari udara karena larut oleh air hujan yang kemudian turun dan meresap ke dalam tanah atau masuk dalam sistem perairan. Hal ini dapat menyebabkan keasaman air sungai dan danau meningkat, yang kemudian dapat menyebabkan kematian pada beberapa jenis ikan

dan hewan air lainnya. Kemampuan air hujan yang bersifat asam melarutkan mineral dalam tanah dan menyebabkan tanah menjadi kurang subur. (Sodhi, 2009).

Terdapat 4 faktor yang berpengaruh terhadap tingkat bahaya suatu polutan, yaitu: (Robert V. Rohli, 2011)

- a. jumlah polutan di lingkungan,
- b. tingkat toleransi, yaitu konsentrasi maksimum polutan yang dapat berada di udara tanpa menimbulkan efek negatif,
- c. lamanya polutan di udara, yaitu waktu rata-rata suatu polutan dapat berada di lingkungan, dan
- d. interaksi antarpolutan, yaitu suatu polutan meningkatkan atau menurunkan atau tidak mempengaruhi efek negatif polutan lainnya.

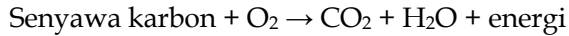
Besarnya tingkat toleransi karbon monoksida adalah $3,5 \cdot 10^4$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, sedangkan toleransi partikulat besarnya $3,5 \cdot 10^4$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$. Berdasarkan angka tersebut dapat dikatakan bahwa partikulat lebih berbahaya daripada karbon monoksida. Karbon monoksida tidak mempunyai efek terhadap polutan lain, sedangkan partikulat dapat meningkatkan kerusakan yang disebabkan oleh gas SO_2 (Prodjosantoso, 2011).

Dengan mempelajari karakteristik berbagai polutan, para ahli mendapatkan perkiraan tingkat bahaya polutan. Beberapa ahli lainnya mendapatkan harga persentasi yang berbeda dengan harga yang tercantum dalam Tabel 2 dibawah, namun pada umumnya para ahli setuju jika partikulat diklasifikasikan sebagai polutan dengan tingkat bahaya yang tertinggi. Sampai saat ini belum diketahui tingkat bahaya beberapa polutan lainnya, seperti oksidan fotokimia dan logam berat.

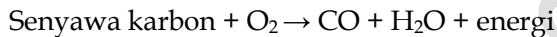
Tabel 2. Perkiraan tingkat bahaya polutan

Polutan	Partikulat	SO_x	NO_x	Hidrokarbon	CO	Total
Tingkat bahaya (%)	50	27	12	7	4	100

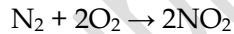
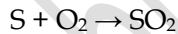
Sumber utama polutan udara adalah proses pembakaran, yaitu reaksi antara oksigen dengan senyawa karbon, yang berlangsung dengan cepat, menghasilkan energi (Gambar 7). Bila senyawa karbon terbakar secara sempurna akan dihasilkan karbon dioksida dan uap air.



Bila pembakaran berlangsung dengan oksigen terbatas akan dihasilkan gas karbon monoksida.



Belerang yang merupakan pengotor dalam batubara dan minyak bila terbakar akan menghasilkan SO_2 . Jika pembakaran berlangsung pada suhu tinggi, selain terbentuk oksida belerang, juga akan terbentuk oksida nitrogen. Nitrogen yang terbakar berasal dari udara.²⁰

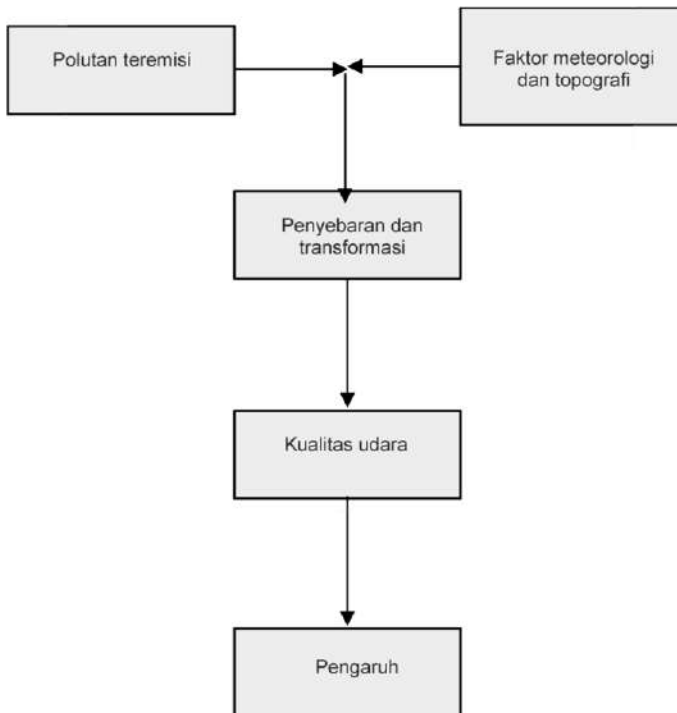


Gambar 7. Reaksi pembakaran

Keberadaan sumber polutan tidak langsung dapat menimbulkan masalah polusi udara. Kualitas udara berubah secara kontinyu tergantung pada aktivitas yang dilakukan manusia dan kondisi alam. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara dan interaksinya dapat dilihat pada Gambar 8.

Terdapat tiga kemungkinan perilaku polutan di udara: (Prodjosantoso, 2011)

1. bergerak terus di udara dan berpencaran sebagai akibat angin dan perbedaan suhu,
2. berinteraksi antarpolutan atau polutan dengan senyawa lain baik secara kimia maupun fisika, dan
3. mengendap/hilang dari udara, misalnya ke dalam laut, tanah, atau masuk dalam sistem metabolisme manusia, hewan dan tumbuhan.



Gambar 8. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara (Barbara J. Finlayson-Pitts, 2000).

4.4 Zat yang Menyebabkan Pencemaran Udara (Wright, 2003)

Polutan udara utama dengan jumlah total > 90% di banyak negara meliputi: karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HK), belerang oksida (SO_x), dan partikulat (Part.). Polutan manakah yang mendominasi udara di daerah Anda? Proses-proses apakah yang menghasilkan polutan tertentu dalam jumlah relatif banyak? Jawaban kedua pertanyaan tersebut dapat menjadikan dasar pengambilan keputusan dalam mencegah terjadinya polusi udara oleh polutan tertentu.

4.4.1 Partikulat

Partikulat merupakan suspensi padatan dalam udara. Beberapa jenis partikulat diantaranya asap, debu, jelaga dan abu. Diameter partikulat adalah sekitar 10⁻⁷ cm sampai beberapa sentimeter. Partikulat berperan sebagai inti dalam proses kondensasi dan mempunyai kemampuan untuk menyerap dan memantulkan cahaya.

Secara alami partikulat dihasilkan pada proses letusan gunung berapi, erosi, kebakaran hutan dan penguapan air laut yang mengandung garam. Selain itu partikulat dihasilkan oleh proses yang dilakukan manusia (Gambar 8) Polutan dalam bentuk partikulat dihasilkan pada proses pembakaran dan proses mekanis, seperti penyemprotan, penghalusan dan penumbukan. Proses ini banyak terjadi pada industri peleburan tembaga, pengolahan biji besi, penyulingan minyak, pembangkit tenaga listrik, pabrik gula, dan proses pengolahan kayu.

Partikulat berbahaya bagi saluran pernafasan, menaikkan tingkat bahaya SO₂ terhadap paru-paru, dan menghambat sirkulasi CO₂ dan O₂ pada permukaan daun. Partikulat dapat pula menyebabkan pudarnya warna cat dan mempercepat proses korosi, terutama jika partikulat bersifat asam. Selain itu partikulat dapat menurunkan jarak pandang dan menurunkan jumlah radiasi matahari yang dapat mencapai permukaan bumi.

Sampai saat ini belum dapat diketahui dengan pasti proses terjadinya interaksi antarpartikulat dan partikulat dengan polutan jenis lainnya. Konsentrasi suatu partikulat di udara dapat mengalami penurunan dengan adanya proses pengendapan, penempelan dan atau interaksi dengan daun suatu tanaman dan bangunan atau bahan lainnya, serta terbawa oleh air hujan.



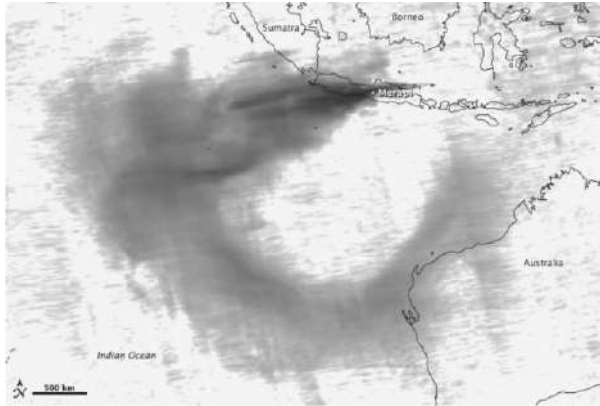
Gambar 9. Partikel asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru

4.4.2 Belerang oksida (SO_x)

Belerang oksida meliputi belerang dioksida (SO₂) dan belerang trioksida (SO₃). Belerang dioksida merupakan gas yang berbau sangat menyengat. Gas ini dapat bereaksi dengan oksigen, amoniak, dan senyawa lainnya, misalnya uap air, membentuk embun dan larutan asam sulfat serta senyawa sulfat lainnya. Polutan senyawaan belerang yang paling dominan di daerah perkotaan adalah gas SO₂ dan embun asam sulfat.

Secara alami belerang dioksida di udara banyak dihasilkan oleh proses letusan gunung berapi (Gambar 10) dan oksidasi gas H₂S. Sumber lain yang berkaitan dengan kegiatan manusia adalah proses pembakaran batubara dan minyak serta proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Proses-proses tersebut banyak terjadi pada peleburan bijih logam nonbesi, pembangkit tenaga

listrik, penyulingan minyak bumi, pembuatan kertas, semen, tekstil, plastik dan pembuatan karet.



Gambar 10. Distribusi SO₂ akibat letusan Gunung Merapi tanggal 4 Nopember 2010

Oksida belerang dapat menyebabkan iritasi pada mata, tenggorokan dan saluran pernafasan lainnya. Kondisi pasien asma, bronkitis, dan empisema dapat menjadi semakin parah dengan adanya oksida belerang. Oksida belerang dapat juga menyebabkan daun tanaman mengalami klorosis. Selain itu, oksida belerang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada logam dan bahan bangunan, merusak (mudah sobek) barang-barang yang terbuat dari kulit, kertas dan tekstil, serta memudahkan warna cat dan pewarna lainnya.

Belerang dioksida hanya dapat bertahan di udara selama 4 hari, sedangkan aerosol belerang oksida dapat bertahan sampai beberapa minggu. Belerang dioksida tidak dapat bertahan lama di udara karena terjadinya reaksi oksidasi menghasilkan SO₃ yang dengan segera bereaksi dengan uap air menghasilkan asam sulfat (H₂SO₄) dan mungkin akan bereaksi lebih lanjut membentuk amonium sulfat dan garam lainnya. Asam dan garam sulfat berada dalam bentuk aerosol. Bila terjadi hujan, aerosol akan terbawa oleh air hujan dan terjadi kontak dengan tanah, bangunan dan bahan lainnya, serta terserap ke dalam tanaman.

4.4.3 Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Secara alami karbon monoksida dihasilkan pada proses kebakaran hutan, reaksi di dasar laut, reaksi terpena, oksidasi metana (CH_4), dan degradasi klorofil. Sumber CO lainnya yang berkaitan dengan kegiatan manusia adalah pembakaran tidak sempurna bahan bakar kendaraan bermotor (Gambar 11), dan asap rokok. Pembakaran bahan bakar secara tidak sempurna banyak terjadi pada kendaraan bermotor, dan penyulingan minyak. Karbon monoksida juga banyak dihasilkan pada proses pengolahan bijih besi dan pembuatan kertas.



Gambar 11. Mobil sebagai sumber CO

Karbon monoksida dapat menurunkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Sebagai akibatnya, kebutuhan tubuh akan oksigen tidak terpenuhi dengan baik. Akibat lebih lanjut yang ditimbulkan adalah terganggunya fungsi koordinasi dan mental. Secara berurutan gejala yang ditimbulkan CO, dengan semakin meningkatnya konsentrasi, adalah sakit kepala, pusing, badan lemah, telinga berdengung, mabuk, muntah-muntah, sulit bernafas, lemah otot, tidak sadar, pingsan, dan mati.

Gas CO dapat bertahan di udara selama kurang lebih satu bulan. Oleh radikal hidroksil, CO teroksidasi menjadi CO_2 .²⁹ Gas CO di udara juga dapat berkurang jumlahnya karena adanya proses

biologi dalam tanah, dan pindah ke lapisan stratosfer yang kemudian diikuti dengan oksidasi menjadi CO₂.

4.4.4 Oksida nitrogen (NO_x)

Oksida nitrogen meliputi nitrogen oksida (NO), dinitrogen oksida (N₂O), dan nitrogen dioksida (NO₂). Gas NO dan N₂O tidak berwarna, sedangkan NO₂ berwarna coklat kemerahan. Gas N₂O berbau tajam. Oksida nitrogen berada di udara sebagai akibat terjadinya reaksi oksidasi nitrogen (N₂) dengan adanya loncatan api/listrik dari halilintar, aktifitas bakteri tanah, dan berbagai reaksi yang terjadi dalam laut.

Gas nitrogen oksida banyak dihasilkan pada pembakaran minyak, kayu, batu bara, dan juga banyak didapatkan pada asap rokok. Gas tersebut juga banyak dihasilkan sebagai buangan pada industri bahan peledak (TNT = trinitro toluena), penyulingan minyak, dan industri semen.

Gas NO seperti juga CO dapat menurunkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Gas NO₂ dapat mengiritasi mata, hidung, tenggorokan, dan paru-paru. Daya rusak gas NO₂ terhadap daun pada tanaman meningkat dengan adanya gas SO₂.

Secara umum oksida nitrogen dapat menyebabkan korosi pada logam dan bahan-bahan lain dengan cepat. Oksida nitrogen juga dapat menjadi pencetus terjadinya reaksi fotokimia, yang pada akhirnya menghasilkan *smog30* (kabut).

Gas NO dan NO₂ dapat bertahan di udara selama 5 hari, sedangkan N₂O dapat bertahan relatif lebih lama, yaitu antara 4 sampai 8 tahun. Gas NO dapat teroksidasi menjadi NO₂, yang kemudian dapat bereaksi dengan air hujan atau uap air membentuk asam nitrat (HNO₃). Gas N₂O bergerak ke atas dan dapat mencapai lapisan stratosfer, serta mengalami oksidasi menjadi NO. Gas NO berperan besar dalam menjaga kestabilan jumlah ozon di stratosfer. Di udara, oksida nitrogen dapat pula mengalami pengurangan jumlah sebagai akibat larut dalam air hujan, kontak dengan tanah, bangunan dan batuan, terserap oleh air dan tanaman.

4.4.5 Hidrokarbon (HK)

Hidrokarbon merupakan salah satu polutan udara yang senyawanya terdiri dari unsur karbon (C) dan hidrogen (H). Biasanya HK sebagai polutan udara berbentuk gas pada suhu ruang. Senyawa HK dapat berinteraksi dengan nitrogen oksida menghasilkan *smog* yang berwarna gelap.

Senyawa HK banyak dihasilkan pada proses kebakaran hutan, pembakaran bahan bakar (misalnya minyak, kayu, dan batu bara) secara tidak sempurna, penyulingan minyak, pabrik petrokimia, penguapan pelarut organik, peruraian senyawa organik (terbentuk CH₄), dan proses lain pada tanaman yang belum dapat diketahui dengan jelas.

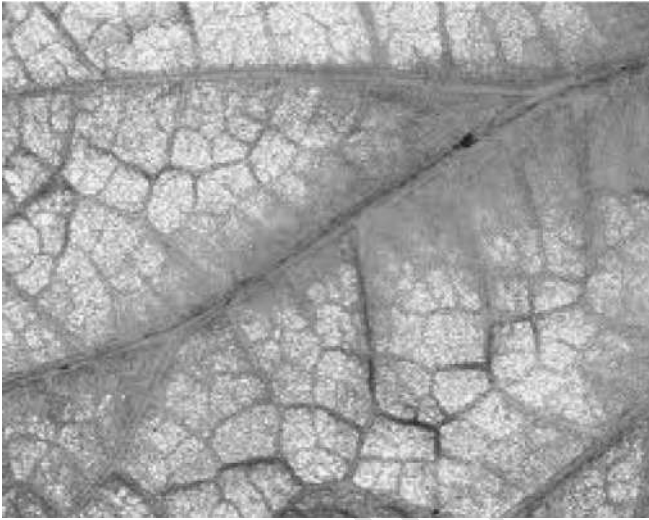
Senyawa HK aromatik, seperti benzena dan benzopirena dapat menyebabkan kanker pada hewan dan bersifat karsinogenik terhadap manusia. Senyawa HK berperan besar pada reaksi fotokimia. Pada reaksi fotokimia, HK bersama dengan NO_x dan O₂ membentuk *smog*. Di udara gas metana (CH₄) dapat teroksidasi oleh radikal hidroksil menghasilkan gas CO. Gas CH₄ dapat bertahan selama 1 sampai 2 tahun di udara.

4.4.6 Oksidan Fotokimia

Oksidan fotokimia meliputi ozon (O₃) (Gambar 12), peroksiasetil nitrat (PAN), peroksibenzoil nitrat (PBzN) dan gas-gas lain yang merupakan turunan hidrokarbon. Secara umum oksidan fotokimia di udara dihasilkan dari reaksi antara nitrogen oksida dan hidrokarbon. Dengan adanya sinar matahari, oksidan fotokimia mengoksidasi senyawa lain yang tidak dapat teroksidasi oleh oksigen di udara.

Pada konsentrasi rendah, peroksiasetil nitrat (PAN) dan peroksibenzoil nitrat (PBzN) dapat menyebabkan sesak nafas, batuk, dan iritasi pada mata. Paparan dengan senyawa ini dalam waktu lama dapat meningkatkan kepekaan tubuh terhadap infeksi oleh bakteri. Pada konsentrasi tinggi, PAN dan PBzN dapat menyebabkan kematian pada tumbuhan dan hewan, serta dapat menyebabkan kain mudah sobek, menurunkan elastisitas karet, dan memudahkan

warna cat. Peroksiasetil nitrat dan peroksibenzoil nitrat dapat berada di udara dalam jangka waktu satu hari.



Gambar 12. Efek ozon pada permukaan daun labu merah

4.4.7 Hidrogen Sulfida (H₂S)

Gas hidrogen sulfida merupakan gas yang tidak berwarna dan berbau tidak enak, seperti bau telur busuk. Gas ini banyak dihasilkan pada proses letusan gunung berapi, peruraian senyawa organik oleh bakteri anaerob, dan gas alam yang keluar bersamaan dengan uap air panas dari perut bumi. Selain itu, gas ini juga dihasilkan pada proses industri (misalnya pabrik kertas) dan pengolahan limbah.

Pada konsentrasi yang relatif rendah gas H₂S dapat menyebabkan iritasi pada sel-sel sensorik, sedangkan pada konsentrasi yang tinggi gas tersebut dapat merusak syaraf pusat. Selain itu, gas H₂S dapat memudahkan warna cat, dan memudahkan warna paduan logam kuningan serta logam perak. Di udara, gas H₂S mudah teroksidasi menghasilkan gas SO₂, sehingga gas H₂S hanya berumur antara satu sampai dua hari saja.

4.4.8 Logam berat

Logam berat meliputi timbal (Pb), berilium (Be), kadmium (Cd), air raksa (Hg), dan nikel (Ni). Logam-logam ini perlu dipelajari secara khusus karena toksisitasnya yang tinggi terhadap manusia dan organisme lainnya.

Timbal di udara secara alami diakibatkan oleh sebaran debu dari tanah yang mengandung timbal (sekitar 16 ppm) ke udara. Logam Pb di udara juga berasal dari buangan pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, pembakaran batu bara, dan industri cat. Logam Cd dihasilkan oleh industri pupuk, cat, dan plastik. Air raksa terdapat dalam limbah pembakaran batu bara dan arang. Logam Be dan Ni dihasilkan pada berbagai proses industri dan pembakaran batu bara.

Logam Pb dapat menyebabkan kerusakan otak, perubahan tingkah laku, dan kematian pada manusia. Berilium dapat menyebabkan kerusakan pada paru-paru, pembengkakan limpa, dan badan menjadi kurus. Kadmium dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan paru-paru. Air raksa dapat menyebabkan tremor, kulit terkelupas, dan halusinasi. Nikel dapat menyebabkan dermatitis, pusing, sakit kepala, mabuk, dan kanker.

Logam berat dapat berada di udara selama beberapa hari, tergantung dari ukuran partikelnya. Logam berat relatif tidak bereaksi selama di udara. Pengurangan kadar logam berat di udara disebabkan adanya pengendapan akibat air hujan dan grafitasi.

4.5 Sumber Pencemaran Udara

Peraturan pemerintah mengenai pengelolaan udara di Indonesia pada PP No. 41/1999 mendefinisikan sumber pencemaran udara sebagai setiap usaha dan atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara dengan menyebabkan udara tidak berfungsi sebagaimana mestinya, dan kemudian peraturan pemerintah ini menggolongkan sumber pencemaran udara atas lima, yakni :

- 1) Sumber bergerak : sumber emisi yang bergerak atau tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor

- 2) Sumber bergerak spesifik : serupa dengan sumber bergerak namun berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal, laut dan kendaraan berat lainnya.
- 3) Sumber tidak bergerak : sumber emisi yang tetap pada suatu tempat.
- 4) Sumber tidak bergerak spesifik : serupa dengan sumber tidak bergerak namun berasal dari kebakaran hutan dan pembakaran sampah.
- 5) Sumber gangguan : sumber pencemar yang menggunakan media udara atau padat untuk penyebarannya, sumber ini berupa dari kebisingan, getaran, kebauan dan gangguan lain.



(a)



(b)

Gambar 13.

- (a) Sumber pencemar udara tidak bergerak
- (b) Sumber pencemar udara bergerak

Menurut Basri (2010), terdapat lima unsur-unsur kimia berbahaya sebagai pencemar udara yang penting, yaitu :

- 1) Ozone (O_3),
- 2) Oksida Karbon (CO dan CO_2),
- 3) Oksida Belerang (SO_2 dan SO_3),
- 4) Oksida Nitrogen (NO, NO_2 , dan N_2O),
- 5) Partikel Molekuler (debu, asam, pestisida, dll).

4.6 Pengaruh Pencemaran Udara Bagi Kesehatan

Dampak pencemaran udara bagi manusia sangat membahayakan. sejumlah studi epidemiologi menyelidiki dampak

perubahan kualitas udara terhadap kesehatan manusia dimana polusi udara berkontribusi terhadap peningkatan angka kematian dan penerimaan pasien dirumah sakit. komposisi polutan udara yang berbeda, dosis dan waktu pemaparan dapat menyebabkan beragam dampak pada kesehatan manusia. Efek kesehatan manusia bisa berkisar dari mual dan sulit bernafas atau iritasi kulit, hingga kanker (Kampa and Castanas, 2008).

Menurut Kampa and Castanas (2008), efek polusi udara bagi organ tubuh adalah sebagai berikut:

1. Sistem Pernafasan

Banyak penelitian menggambarkan bahwa semua jenis polusi udara, pada konsentrasi tinggi, dapat mempengaruhi saluran pernafasan. Gejala yang ditimbulkan seperti iritasi hidung dan tenggorokan, bronkokonstriksi dan dyspnoea, terutama pada individu penderita asma, biasanya dialami setelah terpapar dengan peningkatan kadar sulfur dioksida, oksida nitrogen dan logam berat tertentu seperti arsen dan nikel. Selain itu, partikel yang menembus epitel alveolar dan ozon menyebabkan lesi pada paru-paru dan peradangan yang dipicu oleh polutan. Selain itu, polutan udara seperti nitrogen oxides rentan meningkatkan infeksi saluran pernafasan asma, emfisema, dan bahkan kanker paru-paru.

2. Sistem Kardiovaskuler

Polusi udara yang menyebabkan iritasi paru-paru dan perubahan pembekuan darah dapat menghalangi pembuluh darah (jantung), sehingga menyebabkan angina atau bahkan miokard. Gejala yang terjadi seperti takikardia, peningkatan tekanan darah dan anemia akibat efek penghambatan pada haematopoiesis yang disebabkan oleh polusi logam berat (khususnya merkuri, nikel dan arsenik).

3. Sistem Syaraf

Sistem saraf terutama dipengaruhi oleh logam berat (timbal, merkuri dan arsenik) dan dioksin. Neurotoksisitas yang menyebabkan neuropati, dengan gejala seperti gangguan memori, gangguan tidur, kemarahan, kelelahan, tremor tangan,

penglihatan kabur, dan ucapan yang tidak jelas, telah diamati setelah paparan arsenik, timbal dan merkuri. terutama, paparan timah menyebabkan kerusakan pada sistem dopamin, sistem glutamat dan kompleks reseptor N-metil-D-aspartat (NMDA), yang memainkan peran penting dalam fungsi memori. merkuri juga bertanggung jawab atas kasus tertentu dari kanker neurologis. Dioksin menurunkan kecepatan konduksi saraf dan gangguan perkembangan mental anak.

4. Sistem Kemih

Logam berat dapat menyebabkan kerusakan ginjal seperti disfungsi tubular awal yang dibuktikan dengan peningkatan ekskresi protein dengan berat molekul rendah, yang berlanjut ke penurunan laju filtrasi glomerulus (GFR). Selain itu dapat meningkatkan risiko pembentukan batu atau nefrokalsinosis dan kanker ginjal.

5. Gangguan Kehamilan

Polusi udara dapat mempengaruhi janin yang sedang berkembang. Paparan ibu terhadap logam berat dapat meningkatkan risiko aborsi spontan dan mengurangi pertumbuhan janin (persalinan prematur, berat lahir rendah). Hal ini juga mempengaruhi sistem saraf yang menyebabkan kerusakan penting pada kemampuan motorik dan kognitif bayi baru lahir. Demikian pula, dioksin yang dipindahkan dari ibu ke janin melalui plasenta dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan sistem saraf pusat janin.

4.7 Usaha Untuk Mengurangi Atau Mencegah Terjadinya Pencemaran Udara

Banyak diantara kita telah memperlakukan atmosfer sebagai tempat sampah. Walau pun atmosfer mampu melarutkan dan menghancurkan berbagai macam spesies yang dibuang ke udara, namun kecepatan masuknya senyawa tersebut ke udara relatif lebih besar dari pada kecepatan hilangnya senyawa tersebut dari udara. Polusi akan terjadi karena proses alamiah tidak mampu

mengimbangi jumlah dan kecepatan masuknya polutan ke udara (Prodjosantoso, 2011).

Menurut Basri (2010), upaya yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi memburuknya tingkat pencemaran udara adalah:

4.7.1 Polusi Udara oleh Gas Ozone (O_3) dan Pengelolaannya

Ozon (O_3) merupakan molekul kimia dari 3 atom yang saling melekat dan merupakan bahan yang berenergi, bila ozon bersinegri dengan bahan maka dengan cepat mengeluarkan energi kimia yang kuat, dan karena bentuk molekul ozon adalah energi solar (matahari) dengan reaksi fotokimia dari polutan maka akan meningkatkan konsentrasi ozon yang puncaknya terjadi pada tengah hari, Bila telah mencapai 0,08 ppm akan mengganggu kesehatan bila kondisi tersebut berlanjut sampai delapan jam. Untuk mengantisipasi polusi udara akibat menipisnya lapisan ozon maka langkah-langkah yang dapat dilakukan dengan mengurangi atau meniadakan penggunaan Chlorofluorocarbon (CFC) pada produksi industri-industri, misalnya pada kemasan aerosol dan mesin pendingin sehingga diperlukan modifikasi mesin pengguna CFC dari alat-alat tersebut.

4.7.2 Polusi Udara oleh Oksida Karbon (CO dan CO_2) dan Pengelolaannya

Sumber pencemaran yang paling banyak di muka bumi ini adalah gas buang yang dihasilkan oleh industri dan kendaraan bermotor berupa Karbondioksida (CO_2), dan bahkan sumber pencemaran gas pencemar ini berasal dari rumah yang disebabkan gas memasak, pemanas ruang serta asap rokok dan juga kebakaran, walaupun tidak beracun gas ini tetapi dapat berakibat naiknya suhu bumi. CO_2 yang terdapat dalam udara akan digunakan oleh makhluk hidup, sebagian juga akan melarut dalam laut. CO_2 juga akan bereaksi di udara dengan batu silikat yang mengalami kehancuran iklim, terbentuklah $CaCO_2$ dan batu kapur serta $CaCO_3$ yang

berakibat terganggunya daur siklus karbon di udara dan CO₂ banyak mengabsorpsi energi thermal yang seharusnya kembali ke angkasa. CO₂ kan menyimpan energi ini sehingga menyebabkan suhu naik dan menurut perhitungan dalam waktu 500 tahun suhu akan naik 22⁰ C (Sastrawijaya, 2000).

Basuki (1992) menyebutkan bahwa pengelolaan Pencemaran Udara berdasarkan Badan Proteksi Lingkungan (EPA) menentukan standar kandungan CO di udara, yakni konsentrasi karbonmonoksida harus tidak melebihi 9 ppm selama delapan jam berturut-turut dan tidak boleh dalam periode waktu satu jam.

Upaya pengelolaan lingkungan udara seperti di atas dapat dilakukan dengan program konservasi hutan, program hutan kota, dan atau penanaman pohon (vegetasi) yang mana fungsi dari vegetasi ini adalah kemampuannya menyerap zat pencemar CO₂ karena saat berfotosintesa memiliki kemampuan menyerap panas yang menyebabkan udara di sekitarnya menjadi dingin. Sejalan dengan itu Pherson (1998) bahwa yang memiliki permukaan daun (*crown canopy*) 1.000 m² menyerap sejumlah CO₂ di udara menghasilkan sejumlah cukup untuk keperluan bernafas satu orang selama satu tahun. Suatu kawasan yang memiliki tutupan tumbuhan seluas 39 % akan mampu menyerap CO₂ sebesar 119 t/ha dan pada daerah lainnya yang terdapat tutupan sekitar 21 % hanya memiliki kemampuan penyerapan CO₂ sekitar 40 t/ha. Selanjutnya disebutkan untuk lebih mengoptimalkan peran vegetasi/hutan dapat dilakukan dengan langkah-langkah :

- 1) Menanam pohon yang memiliki kemampuan menyerap zat pencemar udara CO₂.
- 2) Sesegera mungkin mengganti pohon yang mati dengan tanaman yang baru.
- 3) Menciptakan keanekaragaman hayati pada suatu lokasi hutan kota, umur dan jenis yang berbeda sehingga luas permukaan daun/canopy dapat berlanjut.

- 4) Memilih jenis tanaman yang sesuai dengan jenis tanah dan iklim lokal sehingga dapat tumbuh subur dan pada akhirnya dapat menyerap CO_2 serta sedikit memerlukan perawatan.
- 5) Mempertimbangkan jangka waktu tumbuh, karena jenis tanaman yang memiliki kecepatan tumbuh cepat memiliki pula kesempatan untuk menyerap CO_2 .

4.7.3 Polusi Udara oleh Oksida Belerang (SO_2 dan SO_3) dan Pengelolaannya

Standar SO_2 dituliskan untuk daerah perindustrian dan permukiman perlu dibedakan terinci pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Konsentrasi maksimum SO_2 dengan waktu

Periode rata-rata	Konsentrasi Maksimum SO_2	
	Permukiman	Industri/Dagang
Satu Jam	0,025 bpj	0,40 bpj
24 Jam	0,10 bpj	0,20 bpj

Periode rata-rata	Konsentrasi Maksimum SO_2	
	Permukiman	Industri/Dagang
Satu tahun	0,02 bpj	0,05 bpj

Oksida belerang merupakan gas jernih yang tak berwarna, gas ini menyengat dan amat membahayakan manusia, kedalam daur belerang termasuk SO_2 , H_2S , dan H_2SO_4 yang merupakan asam dan garam yang merupakan aerosol tetes air di udara, selanjutnya gas H_2S diproduksi oleh pembusukan bahan organik, letusan gunung api, dan sedikit industri. Jumlah SO_2 karena oksida H_2S adalah 80 % sisanya 20 % SO_2 , dan yang dari manusia adalah bahan bakar yang mengandung belerang dan pelelehan non-feral, kilang minyak, industri batu bara, dan lain sebagainya. Senyawa belerang yang terkandung di udara dapat menyebabkan hujan asam dan akan menimbulkan pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi tanaman, hewan dan bahkan manusia.

Upaya pengelolaan lingkungan udara untuk mengantisipasi kondisi pencemaran yang disebabkan oleh oksida belerang yakni dengan melakukan pembersihan atau pemberantasan SO_2 di industri yang menghasilkan gas buang oksida belerang seperti di kilang minyak, industri batu bara dan lain sebagainya walaupun teknologi ini harus dibayar mahal.

4.7.4 Polusi Udara oleh Oksida Nitrogen (NO , NO_2 dan N_2O) dan Pengelolaannya

Polusi udara dengan oksida nitrogen telah mencapai angka yang cukup signifikan, yakni sekitar 10 % dari semua gas-gas pencemar udara, namun dibalik semua itu peran dan fungsi nitrogen sangat penting dalam siklus kesetimbangan alam, yakni sekitar 78 %. Dalam buku *Pencemaran Lingkungan* yang ditulis oleh Sastrawijaya (2000) dijelaskan bahwa kilat dan kosmis juga mampu mengikat nitrogen dan membentuk senyawa dengan unsure lain, sehingga menghasilkan senyawa yang sangat bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman dan hewan, siklus ini sangat kompleks sehingga banyak yang tidak diketahui pasti dan dalam proses manusia telah mengganggunya.

4.7.5 Polusi Udara oleh Partikel Mokuler dan Pengelolaannya

Partikel Mokuler yang tersuspensi di udara sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Sumber-sumber partikel Mokuler adalah cerobong asap pabrik dan partikel ini akan tersuspensi beberapa hari di udara tergantung dari besar kecilnya partikel, makin kecil partikelnya maka makin lama pula kesempatan untuk tinggal di udara dan untuk partikel yang lebih besar akan cepat turun ke permukaan tanah disekitar sumbernya. Ukuran partikel-partikel dimulai dimulai dari 0,1 sampai dengan 10 mikron dan partikel ini berasal dari proses alam dan dari limbah yang jumlahnya makin meningkat dengan peningkatan jumlah penduduk. Partikel dapat berupa karbon, jelaga, abu terbang, lemak, minyak dan pecahan logam.

Upaya pengelolaan lingkungan udara untuk mengantisipasi kondisi pencemaran tersebut yang disebabkan oleh partikel Mokuler yakni dengan penerapan teknologi penyaringan, seperti pada cerobong asa-sapa industri dengan memasang filter yang saringan lebih dari ukuran partikel mokuler yang dihasilkan pabrik tersebut sehingga dapat menangkap partikel yang halus. Salah satu cara untuk mengantisipasi pencemaran udara oleh partikel Mokuler adalah dengan menampung partikel dalam bejana terbuka atau lempeng kaca yang diberi perekat, sehingga partikel yang jatuh dapat ditimbang dan dianalisis sehingga dapat ditentukan bentuk antisipasinya.

MNC Publishing

LIMBAH INDUSTRI DOMESTIK

5.1 Pengertian Industri Domestik

Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi, dan atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangunan dan perekayasaan industri. Kelompok industri adalah bagian-bagian utama kegiatan industri, yakni kelompok industri hulu atau juga disebut kelompok industri dasar, kelompok industri hilir, dan kelompok industri kecil. Sedangkan cabang industri merupakan bagian suatu kelompok industri yang mempunyai ciri umum sama dalam proses produksi (Undang-Undang RI No.5 tahun 1984 tentang perindustrian).

Industrialisasi merupakan alternatif pilihan model pembangunan yang menjadi wajib dilakukan oleh berbagai negara untuk memacu pertumbuhan ekonomi. Terkait hal ini, di satu sisi industrialisasi memberikan percepatan terhadap pertumbuhan, meskipun di sisi lain dampak dari industrialisasi tetap harus diwaspadai. Fakta dari dampak tersebut salah satunya yaitu keberadaan limbah hasil industri (Bottero, *et al.*, 2011).

Persoalan limbah industrialisasi juga menjadi persoalan di kasus industri kecil. Hal ini mengacu persoalan unit pengolah yang tidak ada karena berbagai pertimbangan, misal ketersediaan lahan, biaya mahal dan kesadaran pelaku usaha industri kecil yang masih rendah (Khalil dan Khan, 2009).

5.2 Limbah Industri Domestik

Komponen limbah hasil produksi merupakan bagian akhir dari semua proses produksi. Persoalan limbah hasil produksi sampai saat ini merupakan sesuatu yang sangat serius bagi semua industri. Limbah hasil produksi dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk yaitu limbah padat, cair dan gas. Semua bentuk limbah tersebut berpotensi memicu dampak negatif, tidak hanya bagi lingkungan tetapi juga bagi proses produksinya. Oleh karena itu, pengolahan limbah hasil produksi merupakan salah satu komponen penting untuk menilai kelayakan suatu proses produksi (Nasir dan Saputro, 2015).

5.2.1 Limbah Cair

Air limbah industri adalah air yang berasal dari rangkaian proses produksi suatu industri dengan demikian maka air limbah tersebut dapat mengandung komponen yang berasal dari proses produksi tersebut dan apabila dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan yang benar tentunya akan dapat mengganggu badan air penerima. Dampak pencemaran air limbah industri terhadap mutu badan air penerima bervariasi tergantung kepada sifat dan jenis limbah, volume dan frekuensi air limbah yang dibuang oleh masing-masing industri (Moertinah, 2010).

Cara pengolahan air limbah industri yang sesuai agar tidak mencemari lingkungannya dipilih berdasarkan karakteristiknya. Karakteristik air limbah industri tersebut adalah karakteristik fisika, karakteristik kimia dan karakteristik biologi (Moertinah, 2010).

Seperti yang telah disebutkan di muka air limbah industri dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat. Salah satu jenis air limbah industri yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan adalah air limbah dengan kandungan organik tinggi. Karakteristik air limbah organik tinggi ditunjukkan dengan tingginya parameter BOD dan COD dalam air limbah. Contoh industri dengan air limbah organik tinggi adalah industri tapioka, tahu, gula, kecap, sitrat, asam glutamat, tekstil, bir, alkohol dan lain-lain (Moertinah, 2010).

Kandungan BOD yang tinggi dalam air limbah industri dapat menyebabkan turunnya oksigen perairan, keadaan anaerob (tanpa oksigen), sehingga dapat mematikan ikan dan menimbulkan bau busuk (Moertinah, 2010).

Berdasarkan konsentrasi bermacam komponen, air limbah dapat diklasifikasikan menjadi air limbah konsentrasi tinggi (*strong*), medium dan rendah (*weak*). Klasifikasi tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Air Limbah (Moertinah, 2010)

	Satuan	Konsentrasi		
		Tinggi	Medium	Rendah
Padatan total	Mg/l	1200	700	350
Terlarut total	Mg/l	850	500	250
Tetap	Mg/l	525	300	145
Menguap	Mg/l	325	200	105
Tersuspensi total	Mg/l	350	200	100
Tetap	Mg/l	75	50	30
Menguap	Mg/l	275	150	70
Padatan terendap	Ml/l	20	10	5
Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	Mg/l	300	200	100
Total Organic Carbon (TOC)	Mg/l	200	135	65
Chemical Oxygen demand (COD)	Mg/l	1000	500	250
Nitrogen (Total sbg N)	Mg/l	85	40	20
Organik	Mg/l	35	15	8
Amoniak Bebas	Mg/l	50	25	12
Nitrit	Mg/l	0	0	0
Nitrat	Mg/l	0	0	0
Phosphorus (total sbg P)	Mg/l	20	10	6
Organik	Mg/l	5	3	2
Anorganik	Mg/l	15	7	4
Chlorida (nilai harus ditambah dengan jumlah yg terbawa dalam air)	Mg/l	100	50	30
Alkalinitas	Mg/l	200	100	50
Lemak	Mg/l	150	100	50

Sumber : (Benefield D & Clifford, 1980).

5.2.2 Limbah Gas

Industri pestisida di Indonesia sebagian besar merupakan industri formulasi ada jirga yang gabungan antara industry formulasi dengan industri manufacture seperti PT. Alfa Abaai Pestisda, dengan industry bahan aktif bahan golongan karbamat dan industri formulasi baik cair maupun padat. Limbah gasnya merupakan senyawa yang sangat beracun karena mengandung senyawa *methyl isocyanida* (MIC) dalam bentuk CN 1 mgr/lit, gas ini tak berbau dan tak berwarna, kita masih ingat tragedi bopal India yang menewaskan ratusan ribu orang. Untuk itu diperlukan

penanganan yang baik dalam mengolah limbah gas pada industri pestisida yaitu dengan kombinasi absorpsi, cat litik dan kondensasi (Suproyo, 2007).

5.2.3 Limbah Padat

Limbah padat adalah segala sesuatu yang tidak terpakai dan berbentuk padatan. Limbah padat merupakan penyumbang terbesar terhadap keseluruhan limbah industri perikanan. Limbah padat hasil perikanan berupa ikan rucah, sisa olahan dari pabrik (kepala/kulit ikan/udang), kesalahan dalam penanganan, ikan yang tidak bernilai ekonomis, atau karena produksi yang berlebihan. Limbah padat hasil perikanan meskipun tidak bernilai ekonomis dan tidak memenuhi syarat untuk dikonsumsi oleh manusia, namun membuangnya begitu saja merupakan suatu pemborosan. Dengan teknologi pengolahan, limbah tersebut dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai tambah, seperti tepung ikan, silase ikan, chitin dan chitosan, kecap ikan, terasi ikan/udang dan kerupuk udang. Limbah padat hasil perikanan berupa ikan rucah, sisa olahan dari pabrik, kesalahan dalam penanganan, atau karena produksi yang berlebihan. Berdasarkan data statistik, limbah hasil perikanan (karena merupakan ikan rucah, sisa olahan dari pabrik, kesalahan dalam penanganan, atau karena produksi yang berlebihan) dapat mencapai lebih dari 500.000 ton setiap tahun (Harianti, 2012).

5.3 Dampak Lingkungan Akibat Limbah Industri Domestik

Kegiatan industri telah menimbulkan perubahan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya. Perubahan yang terjadi dapat bersifat positif dan bersifat negatif. Perubahan positif seperti terbukanya lapangan kerja baru, peningkatan kesejahteraan masyarakat, meningkatnya pendapatan daerah, berkembangnya wilayah kota dan lain-lain harus dijaga dan ditingkatkan agar dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya. Selain itu, perubahan yang bersifat negatif seperti adanya pencemaran terhadap lingkungan, meningkatnya kebutuhan lahan yang kurang terkendali

dan lain-lain harus dikendalikan agar tidak menimbulkan kerugian (Setiyono dan Yudo, 2008).

Dampak dari kegiatan industri paling besar dapat terlihat di lingkungan perairan. Sampai saat ini telah terjadi beberapa dampak akibat pencemaran air ini, antara lain (Setiyono dan Yudo, 2008):

1. Dampak terhadap kualitas air permukaan dan air tanah

Dari hasil survei dan analisa kualitas air sungai dan air laut di pantai di daerah industri telah menunjukkan bukti bahwa kualitasnya telah dibawah standar kualitas air permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa telah ada pembuangan limbah yang jumlahnya di atas daya tampung lingkungan penerima, sehingga mengakibatkan menurunnya kualitas air yang ada (Setiyono dan Yudo, 2008).

2. Dampak terhadap kehidupan biota air

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air limbah tersebut. Dengan demikian akan menyebabkan kehidupan yang ada di dalam perairan yang membutuhkan oksigen akan terganggu, dan mengurangi perkembangannya. Selain disebabkan karena kurangnya oksigen, kematian kehidupan di dalam air dapat juga disebabkan oleh adanya zat beracun. Selain kematian ikan-ikan, dampak lainnya adalah kerusakan pada tanaman/ tumbuhan air. Dari pengamatan selama survai di sepanjang aliran kali mati saat ini sudah jarang sekali ditemukan adanya ikan atau biota lainnya di kali tersebut (Setiyono dan Yudo, 2008).

3. Dampak terhadap kesehatan

Pengaruh langsung terhadap kesehatan, banyak disebabkan oleh kualitas air bersih yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, mengingat sifat air yang mudah sekali terkontaminasi oleh berbagai mikroorganismen yang mudah sekali melarutkan berbagai materi. Dengan kondisi sifat yang demikian air mudah sekali berfungsi sebagai media penyalur ataupun penyebar penyakit (Setiyono dan Yudo, 2008).

Peran air sebagai pembawa penyakit menular bermacam-macam, antara lain (Setiyono dan Yudo, 2008) :

- a. Air sebagai media untuk hidup mikroba pathogen
- b. Air sebagai sarang insekta penyebar penyakit
- c. Jumlah air bersih yang tersedia tak cukup, sehingga manusia bersangkutan tak dapat membersihkan dirinya
- d. Air sebagai media untuk hidup vektor penyebar penyakit.

Ada beberapa penyakit yang masuk dalam katagori *water-borne diseases*, atau penyakit-penyakit yang dibawa oleh air dan masih banyak dijumpai di berbagai daerah seperti terlihat dalam Tabel 5 di bawah.

Tabel 5. Beberapa Penyakit dan Bawaanya Air (Setiyono dan Yudo, 2008).

Agen	Penyakit
Virus: Rotavirus Virus Hepatitis A Virus Poliomyelitis	Diare pada anak Hepatitis A Polio (<i>myelitis anterior acuta</i>)
Bakteri: Vibrio cholerae Escherichia coli Enteropatogenik Salmonella typhi Salmonella paratyphi Shigella dysenteriae Protozoa: Entamuba histolytica Balantidia coli	Cholera Diare/Dysenterie Typhus abdominalis Paratyphus Dysenterie Dysentrie amoeba Balantidiasis
Giarda lamblia	Giardiasis
Metazoa: Ascaris lumbricoides Clonorchissinensis	Ascariasis Clonorchiasis Diphylobothriasis

4. Dampak terhadap estetika lingkungan

Semakin banyaknya jumlah limbah yang masuk ke lingkungan tanpa pengolahan menyebabkan semakin beratnya beban lingkungan untuk menampung dan melakukan degradasi (*self purification*) terhadap limbah tersebut. Jika kemampuan lingkungan penerima limbah sudah terlampaui, maka akan mengakibatkan pencemaran dan terjadi akumulasi materi di lingkungan bersangkutan.

5. Dampak terhadap udara (kebauan)

Penumpukan materi yang tak terkendali akibat limbah akan menimbulkan berbagai dampak seperti bau menyengat. Kondisi jalan yang kotor, saluran drainase pembuangan limbah yang kotor, penuh dengan belatung dan tumpukkan limbah padat yang diletakkan di pinggir saluran sehingga menyebabkan bau busuk yang sangat menyengat dan pemandangan yang kotor.

Pencemaran air dapat terjadi apabila limbah tidak dikelola dengan baik dan benar. Pencemar air dapat menentukan indikator yang terjadi pada air lingkungan. Pencemar air dikelompokkan sebagai berikut (Harmayani dan Konsukartha, 2007):

a. Bahan buangan organik

Bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga hal ini dapat mengakibatkan semakin berkembangnya mikroorganisme dan mikroba patogen pun ikut juga berkembang biak di mana hal ini dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit.

b. Bahan buangan anorganik

Bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan anorganik ini masuk ke air lingkungan maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air, sehingga hal ini dapat mengakibatkan air menjadi bersifat sadah karena mengandung ion kalsium (Ca) dan ion magnesium (Mg). Selain itu ion-ion tersebut dapat

bersifat racun seperti timbal (Pb), arsen(As) dan air raksa (Hg) yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia.

c. Bahan buangan zat kimia

Bahan buangan zat kimia banyak ragamnya seperti bahan pencemar air yang berupa sabun, bahan pemberantas hama, zat warna kimia, larutan penyamak kulit dan zat radioaktif. Zat kimia ini di air lingkungan merupakan racun yang mengganggu dan dapat mematikan hewan air, tanaman air dan mungkin juga manusia.

5.4 Regulasi Terkait Pengolahan Limbah Industri Domestik

Sesuai dengan peraturan dari pemerintah pusat, setiap daerah atau kota harus memiliki peraturan tentang baku mutu air limbah sebagai perangkat pengendalian pembuangan air limbah. Air limbah yang melebihi baku mutu akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan. Setiap jenis industri memiliki peraturan-peraturan baku mutu limbah cair industri yang berbeda. Contoh baku mutu air limbah dari salah satu jenis industri (Rahardjo, 2008).

Tabel 6. Baku Mutu air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Pelapisan Logam dan Galvanis (PERMEN LH, 2014)

Parameter	Kadar Paling Tinggi Pelapisan Logam (mg/L)	Beban Paling Tinggi Pelapisan Logam (gr/m ²)	Kadar Paling Tinggi Galvanis (mg/L)	Beban Paling Tinggi Galvanis (gr/m ²)
TSS	20	0,4	20	0,04
Cu	0,5	0,01	0,5	0,001
Zn	1,0	0,02	1,0	0,0005
Cr ⁶⁺	0,1	0,002	-	-
Cr	0,5	0,01	-	-
Cd	0,05	0,001	0,05	0,0001
Pb	0,1	0,002	0,1	0,0002
Ni	1,0	0,02	1,0	0,002
CN	0,2	0,004	0,2	0,0004
Ag	0,5	0,01	0,5	0,001

PH	6 - 9	6 - 9
Kualitas air limbah paling tinggi	20 L per m ² produk pelapisan logam	2 L per m ² produk pelapisan logam

5.4.1 Peraturan Pengelolaan Lingkungan Kegiatan Industri Rumah Tangga

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan penyempurnaan kebijakan pemerintah daerah/kota dan peraturan daerah yang merupakan perangkat utama dalam system pengelolaan lingkungan, yaitu dengan disusunnya Peraturan Pengelolaan Lingkungan Kegiatan Industri Rumah Tangga (Rahardjo, 2008).

Dengan mengacu pada peraturan-peraturan yang sudah ada sebelumnya, seperti UU Lingkungan Hidup, Peraturan Pemerintah, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta, maka kiranya masih diperlukan pengembangan dan penyempurnaan Peraturan Daerah atau Regulasi, baik pada tingkat provinsi ataupun daerah tingkat II (setingkat kabupaten), terutama yang berkaitan erat dengan masalah sistem pengelolaan limbah pada umumnya dan khususnya untuk limbah cair industri rumah tangga. Berikut ini adalah peraturan-peraturan (sesuai dengan hierarkinya) yang berkaitan dengan pengelolaan lingkungan dan pengelolaan limbah cair industri rumah tangga, serta yang selayaknya dijadikan acuan utama dalam menyempurnakan Peraturan-Peraturan Daerah tersebut (Rahardjo, 2008).

a) Undang-Undang Republik Indonesia

1. Undang-undang RI Nomor 5 tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.
2. Undang-undang RI Nomor 23 tahun 1992 tentang Kesehatan.
3. Undang-undang RI Nomor 24 tahun 1992 tentang Penataan Ruang.

4. Undang-undang RI Nomor 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
 5. Undang-undang RI Nomor 18 tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi.
 6. Undang-undang RI Nomor 32 tahun 2004 tentang Pemerintah Daerah.
 7. Undang-undang RI Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- b) Peraturan Pemerintah / Keputusan Presiden Republik Indonesia
1. Peraturan Pemerintah No. 15 tahun 1989 tentang AMDAL dan Penyehatan Lingkungan
 2. Peraturan Pemerintah Nomor 13 tahun 1996 tentang Izin Usaha Industri.
 3. Peraturan Pemerintah Nomor 69 tahun 1996 tentang Pelaksanaan Hak dan Kewajiban serta Bentuk dan Tata Cara Peran Serta Masyarakat dalam Penataan Ruang.
 4. Peraturan Pemerintah Nomor 35 tahun 1991 tentang Sungai.
 5. Peraturan Pemerintah Nomor 27 tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan.
 6. Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara Peraturan Pemerintah Nomor 25 tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah dan Kewenangan Pemerintah Provinsi sebagai Daerah Otonom.
 7. Peraturan Pemerintah Nomor 150 tahun 2000 tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Bio massa.
 8. Peraturan Pemerintah No. 28 tahun 2000 tentang Usaha dan Peran Serta Masyarakat JK
 9. Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 2000 tentang Penyelenggaraan JK
 10. Peraturan Pemerintah No. 30 tahun 2000 tentang Penyelenggaraan Pembinaan JK Peraturan Pemerintah Nomor 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan B3.
 11. Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

12. Kepres No. 18 tahun 2000 tentang Pedoman Pengadaan B/J Ins. Pem.
- c). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup
1. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-42/Menlh/11/1994 tentang Audit Lingkungan.
 2. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 13 tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.
 3. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-35A/Menlh/7/1995 tentang Program Penilaian Kinerja dan Perusahaan/Kegiatan Usaha dalam Pengendalian Pencemaran di Lingkup Kegiatan Prokasih (proper Prokasih).
 4. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 51 tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri.
 5. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-48/Menlh/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-49/Menlh/11/1996 tentang Tingkat Getaran.
 6. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-50/Menlh/11/1996 tentang Tingkat Kebauan.
 7. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 02/1/1998 tentang Baku Mutu Lingkungan Debu dan Gas.
 8. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 17 tahun 2001 tentang Jenis Usaha dan/atau Kegiatan Yang Wajib Dilengkapi Dengan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan.
 9. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 45 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Pelaksana RKL-RPL.
- d) Keputusan Menteri Kesehatan
1. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 718/Menkes/Per/XII/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan dengan Kesehatan.
 2. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air.
- e) Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan

1. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor : 205/07/1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara untuk Sumber Tidak Bergerak.
 2. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor : 105 tahun 1997 tentang Panduan Pemantauan Pelaksanaan Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL).
- f). Standar Nasional Indonesia (SNI)
1. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor: 06-2421-1991 tentang Metode
 2. Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air.
- g) Surat Keputusan Gubernur atau Bupati/Walikota yang mengatur tentang
1. Baku mutu limbah cair.
 2. Kualitas atau golongan sungai.
 3. Tata Ruang wilayah.
 4. Baku Mutu air.
 5. SK Gubernur DKI Jakarta No. 450 tahun 1996 dan No. 2 tahun 2001 tentang Pelaksanaan APBD berikut penyempurnaan dan perubahannya.
 6. Izin Pembuangan Limbah Cair (Pergub DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005).

5.4.2 Standar Prosedur Pengelolaan Limbah Industri Rumah Tangga

Berdasarkan survey lapangan langsung ke lokasi-lokasi industri rumah tangga yang ada di Wilayah Jakarta Timur diketahui bahwa masih banyak permasalahan lingkungan yang terjadi di dalam areal pemukiman, maupun di dalam pabrik pengolahan untuk memproduksi baik jasa atau barang. Karena itu dibutuhkan suatu Standar Prosedur Operasional Pengelolaan Limbah Industri Rumah Tangga untuk setiap jenis industri atau usaha. Akibat tidak adanya standarisasi ini, maka tanpa disadari betul terus terjadi penyimpangan-penyimpangan dalam pengelolaan limbah industri rumah tangga ini (Rahardjo, 2008).

Dapat dibayangkan bahwa apabila masalah ini dibiarkan dan tidak segera ditangani dengan cepat, maka masalah pencemaran lingkungan akan semakin terakumulasi dan suatu saat akan menyebabkan menurunnya kualitas dan potensi sumber daya alam secara significant. Pengelolaan yang baik salah satunya tercermin dari diaturnya kegiatan operasional pengelolaan limbah dalam sebuah standar operasi. Dalam standar operasi tersebut haruslah mencakup setiap tahapan kegiatan yang harus dilakukan oleh operator pengelolaan limbah untuk mengendalikan, mengalirkan, mengolah limbah hingga melakukan kegiatan pencatatan dan dokumentasi (Rahardjo, 2008).

Berkenaan dengan masalah tersebut, BPLHD (Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah) baik tingkat Provinsi ataupun tingkat wilayah hendaknya menyusun Buku Panduan “Standar Prosedur Operasional (SPO) Pengelolaan Limbah Industri Rumah Tangga”. Konsep dasar SPO Pengelolaan Limbah Industri Rumah Tangga tersebut mengacu pada pengelolaan limbah yang terintegrasi dan mengedepankan pendekatan minimisasi limbah, produksi bersih dan pemanfaatan limbah (Rahardjo, 2008).

5.4.3 Kebijakan dan Regulasi di Bidang Baku Mutu Air

Limbah Sesuai dengan peraturan dari Pemerintah Pusat, setiap daerah atau kota harus memiliki peraturan tentang baku mutu air limbah sebagai perangkat pengendalian pembuangan air limbah.

Air limbah yang melebihi baku mutu akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran pada badan-badan air, baik air permukaan maupun air tanah. Pemerintah DKI Jakarta telah mengeluarkan kebijakan tentang Baku Mutu Air Limbah Industri rumah tangga melalui Peraturan Gubernur tentang Pengelolaan Air Limbah Industri rumah tangga. Baku mutu limbah cair industri rumah tangga yang disyaratkan baru untuk beberapa jenis industri saja secara nasional (Rahardjo, 2008).

5.4.4 Kebijakan dan Regulasi di Bidang Teknik Pengelolaan Limbah Cair Industri Rumah Tangga

Seperti halnya Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, maka untuk pengelolaan limbah cair industri rumah tangga juga sebaiknya diatur dengan peraturan gubernur. Di dalam pengelolaan limbah cair telah mencakup pengolahan limbah cair. Karena itu di dalam peraturan gubernur tersebut juga tercakup syarat-syarat teknis, misalnya tentang teknologi proses yang digunakan, atau bahkan sampai dengan unit-unit perangkat pemrosesnya. Namun harus dicermati, bahwa setiap limbah cair dari suatu jenis industri tertentu pasti mempunyai karakteristik berbeda dengan industri lainnya. Jadi peraturan untuk standar teknis juga harus dibuat per jenis industri rumah tangga yang ada.

5.4.5 Kebijakan dan Regulasi di Bidang Tata Ruang dan Bangunan

Pengelolaan air limbah perkotaan baik skala kota maupun komunal membutuhkan ruang untuk lokasi IPAL dan sistem jaringan air limbah, sehingga pelaksanaan kegiatan pengelolaan air limbah kota sangat terkait dengan kebijakan dan peraturan di bidang tata ruang kota tersebut. Kebijakan Pemda DKI Jakarta di bidang tata ruang dan bangunan telah dirumuskan dalam Peraturan Daerah DKI Jakarta No. 6 Tahun 1999 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah DKI Jakarta 2010. Adapun kebijakan tata ruang yang berkaitan dengan pengelolaan air limbah untuk kota tercantum dalam Pasal 23 Perda tersebut, yaitu sebagai berikut (Rahardjo, 2008):

1. Pengembangan prasarana air limbah untuk meminimalkan tingkat pencemaran pada badan air dan tanah serta peningkatan sanitasi kota melalui pengaturan fungsi drainase.
2. Memperluas pelayanan pengelolaan air limbah dengan sistem perpipaan tertutup melalui pengembangan sistem terpusat di

kawasan pemukiman, kawasan pusat bisnis, kawasan industri dan pelabuhan.

3. Pengembangan sistem modular dengan teknologi terbaik yang dapat diterapkan.
4. Pelayanan pengolahan air limbah direncanakan melalui pembagian zona-zona pelayanan sebagai berikut :
 - a. Zona tengah utara dengan lingkup pelayanan seluas 4.300 Ha
 - b. Zona tengah selatan dengan lingkup pelayanan seluas 1.800 Ha
 - c. Zona barat laut dengan lingkup pelayanan seluas 2.020 Ha
 - d. Zona barat daya dengan lingkup pelayanan seluas 2.170 Ha
 - e. Zona tenggara dengan lingkup pelayanan seluas 1.240 Ha
 - f. Zona timur laut dengan lingkup pelayanan seluas 3.570 Ha
 - g. Zona Tanjung Priok dengan lingkup pelayanan seluas 1.500 Ha
5. Setiap zona pelayanan dilayani oleh pusat IPAL skala kota dengan total luas lahan yang dialokasikan seluas 800 Ha, yang terdistribusi sebanyak 2 buah di wilayah Jakarta Barat, 1 buah di wilayah Jakarta Selatan, 1 buah di wilayah Jakarta Timur, dan 3 buah di wilayah Jakarta Utara seperti dapat dilihat pada gambar 13 tersebut (Rahardjo, 2008).

5.4.6 Kebijakan dan Regulasi di Bidang Kelembagaan

Untuk pengelolaan limbah cair industri rumah tangga di DKI Jakarta belum ditegaskan dalam peraturan tentang lembaga pemerintah mana yang bertanggungjawab dan mempunyai kewenangan penuh. Yang sementara ini berjalan tampak bahwa berbagai dinas dan badan berjalan sendiri-sendiri. Sebut saja Dinas Kebersihan Jakarta Timur memiliki kapasitas sebagai pengelola IPAL di Pulo Gebang, sementara itu untuk Jakarta Pusat dikelola oleh PD. PAL Jaya, dan masih ada lagi Dinas Perumahan yang juga mengatur pengelolaan limbah cair industri rumah tangga untuk beberapa wilayah perumahan (Rahardjo, 2008).

Lembaga-lembaga lain yang juga turut menangani adalah Dinas Perindustrian dan Perdagangan, Dinas Pekerjaan Umum,

BPLHD, Dinas Tata Kota, Dinas Kesehatan dan Dinas Penataan dan Pengawasan Bangunan, serta Tim Penasehat Instalasi dan Kelengkapan Bangunan. Karena itu masih dibutuhkan suatu aturan yang dapat mengkoordinasikan seluruh instansi pemerintah yang terkait agar tidak terjadi friksi kewenangan dan tanggung-jawab antar instansi (Rahardjo, 2008).

5.5 Pengolahan Limbah Industri Domestik

5.5.1 Pengolahan Limbah Industri Cair (Air Limbah Industri)

5.5.1.1 Kajian Teknologi Anaerob Untuk Mengolah Air Limbah Industri

a. Prinsip Proses Biologis Anaerob

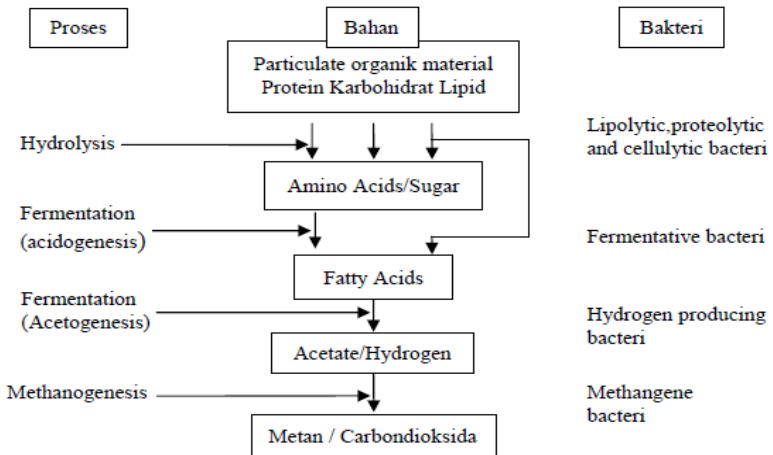
Pengolahan air limbah secara anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan BOD yang sangat tinggi. Tingkat efektifitas pengolahan secara anaerobik sangat dipengaruhi oleh karakteristik bio massa lumpur anaerobik dan senyawa organik kompleks yang terkandung dalam air limbah yang akan diolah. Sebelum pengolahan air limbah secara anaerobik dilaksanakan, maka terlebih dahulu harus dipersiapkan biomassa lumpur yang telah teraklimatisasi dan diketahui kemampuan biodegradasi anaerobik maksimumnya. Persiapan biomassa lumpur anaerobik yang telah teraklimatisasi dapat dilakukan dengan dua jenis sistem aklimatisasi, yaitu sistem satu tahap, dimana tahap asidifikasi dan metanasi dilakukan dalam satu reaktor. Sedang pada sistem dua tahap, proses asidifikasi dan metanasi dilakukan dalam reaktor yang berbeda (Moertinah, 2010).

Proses anaerobik adalah proses biodegradasi senyawa organik menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) tanpa tersedianya molekul oksigen. Pada dasarnya proses anaerobik didominasi oleh dua kelompok bakteri yaitu :

- Bakteri Asidogenik, terdiri dari bakteri pembentuk asam butirat, propionat dan bakteri asetogenik pembentuk asam asetat.

- Bakteri metanogenik, yaitu bakteriasetofilik yang dapat merubah substrat asam asetat menjadi gas metan, dan bakteri hidrogenofilik yang dapat merubah H₂ dan CO₂ menjadi gas metan.

Proses metabolisme anaerobik dapat dibagidalam tiga tahap yaitu hidrolisa, asidifikasi danmetanasi. Pada tahap hidrolisa senyawa polimer didegradasi menjadi monomer yang kemudian oleh bakteri asidogenik akan didegradasi menjadi asam-asam organik pada tahap asidifikasi. Asam organik dalam bentuk asetat akan diubah menjadi gas metan dan CO₂ pada tahap metanasi. Tahap metanasi merupakan tahap yang dapat mereduksi COD air limbah paling tinggi. Pada temperatur dan tekanan standard 0,454 kg COD dapat menghasilkan 0,16 m³gas metan. Mekanisme biokimia dari proses anaerobik adalah sebagai berikut (Moertinah, 2010) :



Gambar 14. Diagram mekanisme biokimia dari proses anaerobik

b. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerob

1) Suhu

Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada suhu optimum. Semakin tinggi suhu, reaksi juga akan semakin cepat, tetapi bakteri akan semakin

berkurang. Proses anaerobik berfungsi efektif pada dua range suhu, range mesophilic (29 - 38°C) dan range thermophilic (49 - 57°C) walaupun laju reaksi lebih besar pada range thermophilic, akan tetapi membutuhkan biaya yang lebih besar. Tetapi untuk air limbah industri yang suhunya cukup tinggi seperti air limbah industri alkohol, gula, pulp dan lain-lain tentunya akan lebih menguntungkan karena air limbah tidak harus didinginkan terlebih dahulu apabila akan diolah. Dengan semakin cepatnya waktu reaksi tentunya reaktor juga semakin kecil sehingga area yang dibutuhkan juga makin berkurang namun hal lain yang perlu dipertimbangkan juga adalah apabila akan diambil gas metannya tentunya harus dicari suhu optimum hasil gas metan yang terbanyak (Moertinah, 2010).

2) pH

Bakteri metan bekerja pada range pH 6,6- 7,6 dengan pH optimum = 7. Penurunan nilai pH yang terjadi setelah proses asidifikasi sehingga pH 6, dapat menghambat aktifitas bakteri metan. Bila laju pembentukan asam melampaui laju pemecahannya menjadi metan, proses akan menjadi tidak seimbang dimana pH akan turun, produksi gas berkurang dan kandungan CO₂ pada gas naik. Dengan demikian dibutuhkan pengolahan pH untuk menjamin laju produksi metan. Untuk menetralkan biasanya digunakan kapur tetapi jangan berlebihan karena akan menghasilkan endapan kalsium karbonat. Sebagai alternatif lain dapat digunakan natrium bikarbonat. Diharapkan bikarbonat alkalinitasnya pada range 2500 - 5000 mg/l sebagai kapasitas penyediaan buffer untuk mengatasi kenaikan asam volatile dengan kenaikan pH minimal. Alkalinitas dapat dikontrol dengan mengurangi kecepatan umpan atau menambah alkalinitas pada air limbah (Moertinah, 2010).

3) Konsentrasi substrat.

Sel mikroorganisme mengandung C, N, P dan S dengan perbandingan 100:10:1:1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme unsur-unsur diatas harus ada pada sumber makanan (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikro-organisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian sedang homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih intim. Kandungan nutrisi yang dibutuhkan untuk pengolahan anaerob air limbah adalah BOD : N : P = 100 : 2,5 : 0,5 (Moertinah, 2010).

4) Zat beracun

Ada jenis-jenis zat organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Beberapa senyawa organik terlarut yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme a.l *formaldehyde, chloroform, ethyl benzene, etylene, kerosene, detergent*. Sedang senyawa anorganik a.l Na, K, Ca, Mg, NH₃, S, Cu, Cr(VI), Cr (III), Ni, Zn dll (Moertinah, 2010).

c. Perkembangan Proses Anaerob

Pengolahan dengan cara proses anaerobik telah lama digunakan untuk mengolah air buangan domestik maupun industri. Pada proses ini bahan-bahan organik diubah menjadi gas metan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Pada mulanya anaerobik digestion digunakan pada pengolahan lumpur tinja dan limbah pertanian dengan menggunakan septik tank. Perkembangan ilmu pengetahuan

dan teknologi yang pesat telah menciptakan pengolahan secara anaerobik dengan laju yang lebih cepat dengan menggunakan *biofilm* dan *biofloc*. Dengan laju yang cepat berarti bahwa umur lumpur (*mean cell resident tank*) yang tinggi harus dicapai dalam sistem, proses operasi demikian akan memperkecil *hidrolic retention time* (HRT) dengan beban COD yang besar. Kinerja ini terbukti stabil dengan rentang beban organik, temperatur dengan laju pertumbuhan *cellular* yang rendah. Proses juga tahan terhadap perubahan debit yang masuk, karakteristik limbah, serta tidak memerlukan pengadukan.

5.5.2 Pengolahan Limbah Gas (Industri Pestisida)

5.5.2.1 Proses Pengolahan Limbah Gas Industri Pestisida.

Reaksi yang terjadi :



Diskripsi Proses

Proses Pengolahan Limbah Gas di Industri pestisida, yang kebanyakan berpagas dan merupakan zat organik yang mudah menguap (VOC) berupa CH_3OCN dan CN 10 mg /lt, pada pengolahannya dipakai system kombinasi dan modifikasi beberapa metode yaitu : Absorpsi, katalitik, oksidasi dan thermal oksidasi, sehingga dapat dihasilkan limbah dengan kualifikasi sesuai dengan ambang batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Limbah gas hasil proses blow out dan blow down dimasukan dalam scrubber pada dasar kolom, scrubber dengan bahan isian pall ring. Dari atas kolom dispray larutan encer NaOH sebagai absorben gas organik larut dan bereaksi dengan absorben seperti pada reaksi (1), gas yang larut akan tertampung pada bottom kolom sedangkan gas yang tidak larut akan keluar dari scrubber sebagai polutan yang sudah bersih. Larutan caustic

dan gas yang terlarut kemudian dialirkan dalam pre heater sebelum masuk pre heater diijeksikan gas Cl_2 melalui regulator yang telah diatur konsentrasinya sesuai dengan kebutuhannya. Gas Cl_2 akan bereaksi sesuai dengan reaksi (2) didalam preheater akan dipanaskan sampai temperatur 80°C, gas N_2 dan CO_2 akan teruapkan masuk dalam ruang katalitik, sedangkan $NaCl$ akan terendapkan dibawah tangki, Gas dan uap air akan masuk kedalam ruang katalis untuk menyempurnakan reaksi, sehingga konversi reaksi dapat mencapai 99%, Uap air dan gas N_2 dan CO_2 selajutnya dipanaskan dalam heater hingga temperaturnya 100°C selanjutnya dimasukan dalam flash distilasi. Dari flash distilasi gas N_2 dan CO_2 akan naik ke top kolom dan keluar sebagai gas dengan kandungan CN dan MIC dibawah 0,001 mgr/lit, sedangkan hasil dasar dari flash distilasi adalah air dengan kandungan CN dibawah 0,01 mgr /1t, dan selanjutnya diolah sebagai limbah cair (Supriyo, 2007).

5.5.3 Proses Pengolahan Limbah Padat Industri

a. Pemanfaatan Limbah Padat Hasil Perikanan

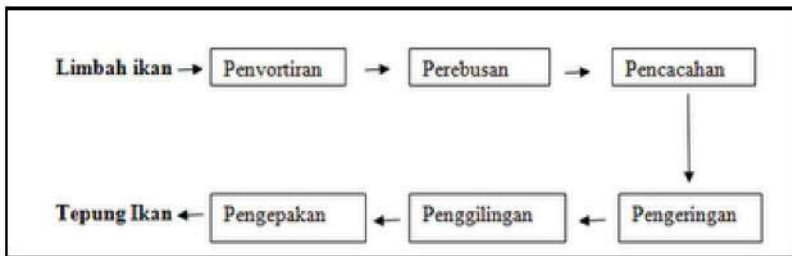
Limbah industri perikanan dapat dimanfaatkan untuk kepentingan umat manusia. Limbah padat merupakan penyumbang terbesar terhadap keseluruhan limbah industri perikanan. Berikut beberapa alternatif pemanfaatan limbah padat hasil perikanan menjadi produk yang bernilai tambah.

b. Tepung Ikan

Tepung ikan adalah suatu produk padat kering yang dihasilkan dengan jalan mengeluarkan sebagian besar cairan dan sebagian atau seluruh lemak yang terkandung di dalam tubuh ikan. Proses Pembuatan Tepung Ikan menurut El Nino Ramadhan (2012) dapat dilihat pada Gambar 15.

Penyortiran dilakukan untuk memisahkan antara bahan baku yang bagus, setengah bagus dan yang tidak bagus serta kotoran-kotoran atau sampah yang terdapat pada limbah ikan. Tahap perebusan dilakukan untuk menghilangkan lemak-lemak

yang mengganggu proses selanjutnya dan bakteri-bakteri yang tidak berguna. Perebusan dilakukan dengan cara yaitu bahan baku dimasukkan ke dalam alat perebus selama dua menit untuk menghilangkan lemak, kemudian bahan baku tersebut diangkat untuk diproses lebih lanjut. Tahap pencacahan bertujuan mencacah bahan baku yang telah mengalami proses perebusan untuk dicacah menjadi potongan-potongan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Setelah pencacahan, selanjutnya dilakukan pengeringan guna mengeringkan bahan baku yang telah mengalami proses pencacahan. Tahap penggilingan dilakukan guna menggiling bahan baku yang telah dikeringkan. Tahap penggilingan ini menghasilkan tepung ikan. Selanjutnya dilakukan pengepakan tepung ikan dan penyimpanan di dalam silo (Harianti, 2012).

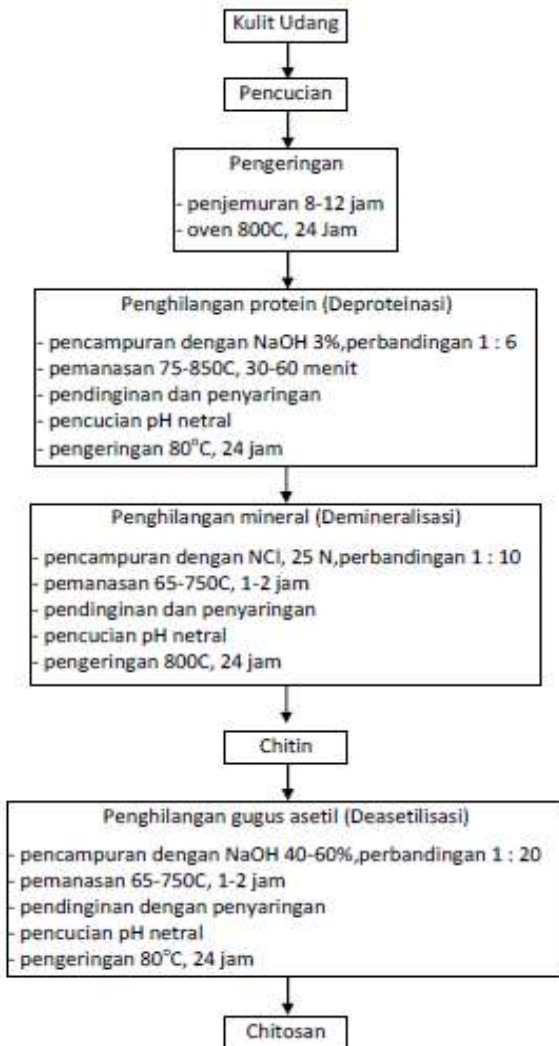


Gambar 15. Proses pembuatan tepung ikan.

c. Pengolahan Chitin dan Chitosan

Chitin adalah suatu polimer dari N-Acetyl glucosamine yang terkandung dalam kepala/kulit udang dan jenis crustecea lainnya yang mempunyai struktur rantai molekul mirip dengan cellulosa, sedangkan chitosan adalah turunan dari chitin. Menurut Saparinto (2011) bahwa chitosan adalah bahan pengawet pengganti formalin yang aman digunakan. Chitosan merupakan limbah atau produk samping dari pengolahan udang dan rajungan. Kandungan chitosan adalah polikation bermuatan positif sehingga mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan kapang. Berdasarkan hasil uji coba, menunjukkan bahwa ikan asin seperti jambal roti, teri kering, cumi asin yang dalam proses pembuatannya diberi chitosan mampu bertahan hingga tiga bulan,

sedang tanpa pemberian chitosan hanya mampu bertahan hingga dua bulan (Harianti, 2012).



Gambar 16. Proses Pembuatan Chitin dan Chitosan.

MNC Publishing

LIMBAH INDUSTRI NEGARA MAJU (AMERIKA SERIKAT)

6.1 Konsep dan Penerapan Sistem *Cleaner Production* dalam Industri

Perbedaan utama antara pengendalian polusi (*Pollution Control*) dan produksi bersih (*Cleaner Production*) salah satunya adalah pada hal waktu. Pengendalian pencemaran adalah *afterthe-event*, "bereaksi dan memperlakukan" pendekatan. Sedangkan produksi bersih (*Cleaner Production*) adalah *proactif*, "mengantisipasi dan mencegah". Seperti diketahui bahwa Pencegahan, selalu lebih baik daripada mengobati (Mini-guide to *Cleaner Production*).

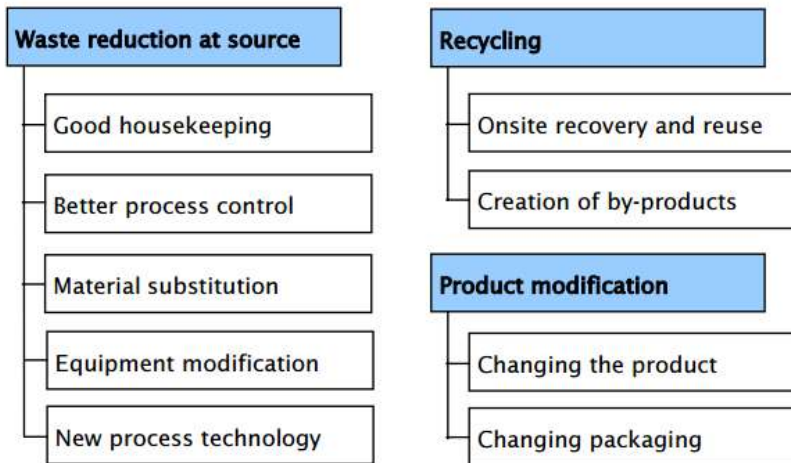
Sebagaimana pernyataan diatas, salah satu strategi proaktif terhadap lingkungan (menghindari atau meminimalkan limbah dan polusi bahkan sebelum dihasilkan) yang dilakukan oleh suatu industri yaitu dengan menerapkan sistem produksi bersih (*Cleaner Production*). *Cleaner Production* merupakan aplikasi terus menerus terhadap strategi pencegahan lingkungan yang terintegrasi yang mana diterapkan pada proses (*processes*), produk (*products*) dan jasa/layanan (*services*) untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan (Mini-guide to *Cleaner Production*).

Untuk proses produksi bersih (*for production processes*) mencakup melestarikan bahan baku dan energi, menghilangkan racun bahan baku, dan mengurangi jumlah dan toksisitas semua emisi dan limbah. Untuk produk produksi bersih (*for products*)

mencakup pengurangan dampak negatif sepanjang siklus hidup produk, dari ekstraksi bahan baku untuk pembuangan akhirnya, dan untuk jasa/layanan produksi bersih (*for services*) adalah untuk menggabungkan masalah lingkungan dalam merancang dan memberikan layanan (*Mini-guide to Cleaner Production*).

Seperti telah disebutkan, perubahan perhatian tidak hanya peralatan, tetapi juga operasi dan manajemen perusahaan. Perubahan, yang disebut "*Cleaner Production Options*" dapat dikelompokkan menjadi (*Mini-guide to Cleaner Production*):

1. Meminimalkan limbah dari sumbernya (*Waste reduction at source*)
2. Mendaur ulang (*Recycling*)
3. Memodifikasi produk (*Product modifications*)



Gambar 17. *Cleaner Production Options* (Mini-guide to Cleaner Production)

6.1.1 Meminimalkan limbah dari sumbernya (*Waste reduction at source*)

a. *Good Housekeeping*

Housekeeping yang baik adalah jenis yang paling sederhana dari opsi produksi bersih. *Housekeeping* yang baik tidak memerlukan investasi dan dapat diimplementasikan dengan segera setelah opsi diidentifikasi. *Housekeeping* yang baik adalah

misalnya untuk memperbaiki semua kebocoran dan menghindari kerugian dengan menutup keran air dan mematikan peralatan saat tidak diperlukan. Meskipun *Housekeeping* yang baik terlihat sederhana, tetapi tetap membutuhkan fokus dari manajemen dan pelatihan kepada staf (*Mini-guide to Cleaner Production*).

b. *Better Process Control*

Better Process Control untuk memastikan bahwa kondisi proses yang optimal terhadap sumber daya konsumsi, produksi dan limbah. Proses parameter seperti suhu, waktu, tekanan, pH, kecepatan pemrosesan harus dipantau dan dipelihara untuk mencapai hasil seoptimal mungkin. Seperti *Housekeeping* yang baik, proses pengendalian yang lebih baik membutuhkan perbaikan pemantauan dan fokus manajemen (*Mini-guide to Cleaner Production*).

c. *Material Substitutions*

Material Substitutions untuk membeli bahan-bahan berkualitas tinggi yang memberikan efisiensi yang lebih tinggi. Seringkali ada hubungan langsung antara kualitas bahan baku dengan jumlah dan kualitas produk. Substitusi material selanjutnya untuk menggantikan bahan yang ada dengan beberapa bahan yang lebih baik bagi lingkungan (*Mini-guide to Cleaner Production*).

d. *Equipment Modifications*

Equipment Modifications untuk meningkatkan peralatan yang ada sehingga material yang terbuang menjadi sedikit. Modifikasi peralatan dapat menyesuaikan kecepatan mesin, untuk mengoptimalkan ukuran tangki penyimpanan, untuk melindungi permukaan yang panas dan dingin, atau untuk memperbaiki desain bagian penting dari peralatan (*Mini-guide to Cleaner Production*).

e. *New Process Technology*

New Process Technology untuk memasang peralatan modern dan lebih efisien, misalnya *boiler* sangat efisien atau mesin jet-dyeing dengan rasio yang rendah. Proses teknologi baru, memerlukan investasi lebih tinggi daripada pilihan produksi bersih lain dan oleh karena itu harus dipertimbangkan dengan hati-hati. Namun,

potensi penghematan dan peningkatan kualitas sering membayar kembali investasi dalam waktu yang sangat singkat (*Mini-guide to Cleaner Production*).

6.1.2 Mendaur ulang (*Recycling*)

a. *On-site Recovery and Reuse*

Di tempat pemulihan dan *reuse* untuk mengumpulkan "sampah/limbah" dan menggunakannya kembali di bagian yang sama atau berbeda dari produksi. Salah satu contoh sederhana adalah dengan menggunakan kembali air bilasan dari satu proses ke proses pembersihan lain (*Mini-guide to Cleaner Production*).

b. *Creation of by Products*

Mengumpulkan (dan mengobati) "*waste-streams*" sehingga dapat dijual kepada konsumen atau perusahaan lain. Ragi berlebih dari pembuatan bir dapat digunakan, misalnya untuk pakan ternak babi, budidaya ikan atau sebagai bahan tambahan makanan (*Mini-guide to Cleaner Production*).

6.1.3 Memodifikasi produk (*Product modifications*)

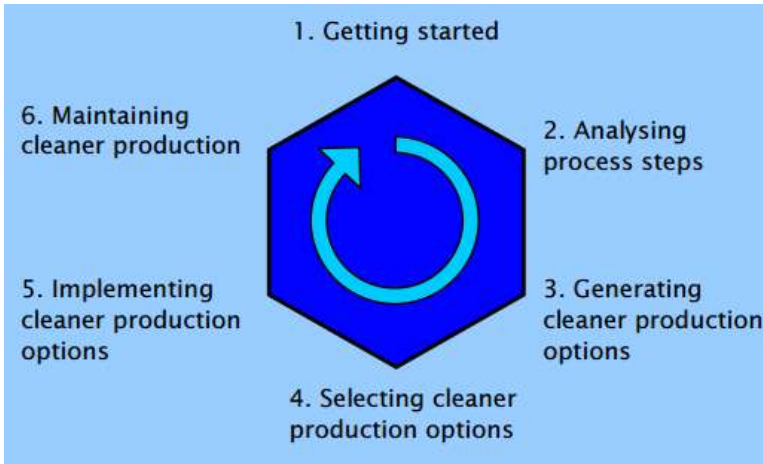
1. *Changing the Products*

Mengubah produk adalah untuk berpikir ulang produk dan persyaratan untuk produk. Jika mungkin untuk mengganti perisai logam dicat dengan pelindung plastik untuk produk tertentu, maka masalah lingkungan dan biaya yang berkaitan dengan cat *finishing* bisa dihindari. Peningkatan desain produk dapat menghasilkan penghematan besar pada konsumsi material dan penggunaan bahan kimia berbahaya (*Mini-guide to Cleaner Production*).

2. *Changing Packaging*

Mengubah kemasan bisa sama pentingnya. Kata kuncinya adalah untuk meminimalkan kemasan dan menjaga perlindungan produk. Salah satu contoh adalah dengan menggunakan kardus daur ulang bukan busa plastik untuk melindungi barang-barang rapuh (*Mini-guide to Cleaner Production*).

Produksi bersih adalah proses yang berkelanjutan. Setelah selesai dengan satu penilaian produksi bersih, proses berikutnya harus mulai lebih baik bahkan lebih lanjut hingga sampai fokus ke area lain. Penilaian produksi bersih (*Cleaner production*) dilakukan dalam enam langkah berikut (*Mini-guide to Cleaner Production*):



Gambar 18. Langkah penilaian *Cleaner Production* (*Mini-guide to Cleaner Production*)

6.2 Limbah Padat (B3)

Sistem pengendalian limbah B3 di Amerika Serikat menggunakan konsep *Cradle-to-Grave*. Sebagai negara industri, Amerika Serikat relatif banyak mengalami banyak masalah dengan limbah, khususnya limbah industri. Kontrol yang aktif dari masyarakatnya banyak menelorkan peraturan-peraturan guna mengatur masalah ini. Beberapa peraturan-peraturan Federal yang berkaitan dengan masalah lingkungan, khususnya yang berkaitan dengan masalah pengelolaan limbah B3 (padat, cair maupun udara/gas) antara lain adalah (Wagner, 1990) :

- o *Atomic Energy Act* (1954) : merupakan revisi *Atomic Energy Act* tahun 1946, yang mengatur permasalahan penggunaan energi nuklir.

- *Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act* (FIFRA-1972) : mengatur penyimpanan dan disposal pestisida.
- *Solid Waste Disposal Act* (1965) dan *Resource Recovery Act* (1970) : pengaturan tentang pengolahan dan daur-ulangan buangan padat.
- *Toxic Substances Control Act* (TSCA -1976) : pengaturan penggunaan bahan kimia berbahaya yang baru dihasilkan.
- *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA -1976) : pengaturan pengelolaan limbah berbahaya
- *Hazardous and Solid Waste Amendments Act* (HSWA - 1984) : tentang perlindungan terhadap air tanah dari limbah berbahaya
- *Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liabilities Act* (CERCLA -1980) dan *Superfund Amendment and Reauthorization Act* (SARA -1986) yaitu tentang pengaturan dan pendanaan bagi pembersihan site disposal berbahaya yang sudah tidak beroperasi.
- *Pollution Prevention Act* (1990) : strategi penanganan pencemaran limbah dengan memberikan prioritas pada minimasi limbah.

Dari sekian banyak peraturan perundang-undangan tersebut di atas, maka yang sangat berkaitan erat dengan masalah limbah berbahaya adalah TSCA (1976), RCRA (1976), HSWA (1980), CERCLA (1980) dan SARA (1986). *Toxic Substances Control Act* (TSCA) memberi kewenangan pada USEPA untuk mengidentifikasi dan memantau bahan-bahan kimia berbahaya di lingkungan, disamping itu USEPA mempunyai kewenangan untuk mendapatkan informasi tentang bahan berbahaya ini di sumbernya (industri). Efek toksik dari bahan yang baru dihasilkan, harus diuji dulu sebelum bahan tersebut diproduksi untuk dipasarkan (Wagner, 1990).

Bahan-bahan kimia yang diproduksi sebelum TSCA juga terkena peraturan ini. Katagori produk yang tidak termasuk dalam kontrol TSCA adalah tembakau, pestisida, bahan nuklir, senjata api/amunisi, makanan, aditif untuk makanan, obat-obatan dan kosmetika. Produk ini telah diatur oleh peraturan-peraturan

sebelumnya. Dengan adanya peraturan tersebut maka tidak satupun bahan kimia yang boleh diimport atau dieksport tanpa kontrol dan persetujuan USEPA (Wagner, 1990).

Solid Waste Disposal Act pada dasarnya mengatur tata cara *disposal* (penyingkiran) limbah kota dan industri, agar tidak mengganggu terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, serta bagaimana mengurangi timbulan limbah tersebut. Perkembangan lebih lanjut ternyata dibutuhkan aturan-aturan lebih jauh agar limbah tersebut, khususnya limbah B3, dikelola dengan baik. Berdasarkan hal ini keluarlah RCRA, yang terdiri dari berbagai Subtitle (Wagner, 1990).

RCRA dianggap merupakan produk legislatif yang paling penting dalam pengaturan limbah B3, dan telah mengalami beberapa kali amandemen sejak dikeluarkannya pada tahun 1976. Dalam pengelolaan limbah berbahaya, versi RCRA yang paling penting adalah aturan-aturan yang termasuk dalam Subtitle-C dengan program utamanya adalah *Cradle-to-grave*, yaitu dari mulai identifikasi limbah berbahaya, persyaratan-persyaratan mulai dari sumber (timbunan), transportasi, pengolahan, penyimpanan, sampai penyingkiran/pemusnahan (*disposal*) limbah berbahaya. RCRA dalam hal ini menugaskan USEPA untuk melaksanakan aturan-aturan yang ada. Dalam peraturan tersebut, dicantumkan aturan-aturan administratif dan teknis untuk tiga katagori pelaku utama, yaitu (Wagner, 1990) :

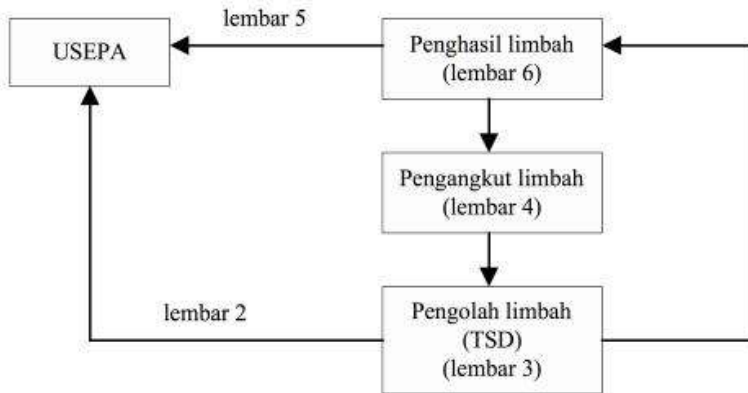
- Penghasil (*generator*),
- Pengangkut (*transporter*), dan
- Pemilik/operator fasilitas pengolah (*treatment*), penyimpanan (*storage*) dan pemusnah/penyingkir (*disposal*) atau TSD. Aturan RCRA selanjutnya dikodifikasi dalam *Code of Federal Regulation* (CFR) dengan sebutan *Title 40 CFR*, antara lain berisi:
 - Identifikasi limbah B3
 - Penghasil limbah B3
 - Pengangkut limbah B3

- Pemilik/operator fasilitas pengolahan, penyimpanan, pembuang limbah B3
- Daur ulang limbah B3
- Land disposal limbah B3
- Izin fasilitas TSD

Generator adalah penghasil (*creator*) limbah berbahaya yang harus menganalisis limbah padatnya sesuai aturan RCRA Subtitle-C. Bila *Generators* skala kecil diharuskan mengikuti aturan tersebut, USEPA menyadari akan sulit menerapkannya. Perusahaan kecil dibatasi kemampuan finansial dan kapasitasnya untuk melaksanakan aturan RCRA secara ketat. Oleh karenanya, EPA pada tahun 1980 lebih lanjut mendefinisikan *Small Quantity Generator* (SQG) sebagai penghasil limbah berbahaya kurang dari 1000 kg per bulan, dan pada tahun 1984 plafon SQG ini diturunkan lagi menjadi 100 kg limbah B3 per bulan. Dengan pengecualian ini, sebagian besar jenis limbah dari SQG dikeluarkan dari Subtitle-C, walaupun pengusaha tetap diwajibkan untuk menganalisis limbahnya (Wagner, 1990).

Generator limbah B3 harus mendapatkan nomor identifikasi dari USEPA, yang memungkinkan untuk memanfaatkan dan pelacakan limbah berbahaya tersebut dalam mata rantai pengelolaan. USEPA juga mengadopsi aturan-aturan yang telah lama digunakan oleh US *Departement of Transportation* (DOT), yaitu aturan-aturan pengangkutan bahan berbahaya dan beracun mulai dari pengemasan, selama pengangkutan sampai di tujuan (Wagner, 1990).

Guna memungkinkan pelacakan dan pengelolaan sesuai dengan konsep *Cradle-to-grave*, maka diciptakan mekanisme seperti Gambar 19 di bawah ini (Wagner, 1990):



Gambar 19. Konsep *cradle-to-grave* Amerika Serikat (Wagner, 1990)

- Setiap generator mengisi format standar dalam 6 kopi.
- Generator menyimpan kopi-6 dan mengirim kopi-5 ke USEPA serta memberikan copy yang lain ke transporter
- Transporter selanjutnya menyimpan kopi-4, dan menyerahkan copy yang lain pada perusahaan TSD (*Treatment, Storage & Disposal*)
- TSD kemudian mengirimkan kopi-1 kembali ke generator, kopi-2 ke USEPA dan TSD menyimpan kopi-3.

Dengan demikian, EPA dan *generator* dapat melacak perjalanan limbah B3 tersebut dari penimbul atau *generator* (*cradle*) ke titik penyingkiran/pemusnahan final (*grave*). Setiap manifestasi tersebut berisi antara lain (Wagner, 1990) :

- Pernyataan bahwa generator telah menggunakan cara-cara terbaik guna mengurangi volume dan toksisitas limbah B3 nya,
- Pernyataan bahwa sarana TSD yang dipilih oleh generator adalah yang terbaik dalam meminimalkan resiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Generator harus sudah menerima kopi-1 dalam kurun waktu 35 hari sejak limbah tersebut diterima oleh perusahaan pengangkut (transporter); kalau tidak, *generator* harus menghubungi *transporter* atau TSD untuk menentukan status dari limbah tersebut. Disamping itu generator harus melaporkan pada USEPA dengan

menunjukkan tempat (lokasi) dimana limbah itu berada (Wagner, 1990).

Transporter merupakan masa rantai yang sangat penting dalam sistem ini. Karena DOT sudah lama menangani transportasi bahan berbahaya, maka USEPA bekerja erat dengan DOT. *Transporter* harus memiliki nomor identifikasi USEPA, dan tidak menerima limbah dari generator yang tanpa nomor tersebut. *Transporter* harus mengangkut limbah tersebut sesuai dengan jumlah yang tercantum dalam manifes. *Transporter* harus menyimpan kopi-4 dari manifes selama 3 tahun setelah limbah tersebut diterima oleh TSD. Rantai akhir dari sistem ini adalah TSD, yang melibatkan 3 kegiatan fungsional, yaitu (Wagner, 1990):

- 1) *Treatment* (pengolahan) : setiap proses yang merubah karakteristik atau komposisi limbah berbahaya sehingga menjadi tidak berbahaya atau sedikit berbahaya, atau setiap proses yang mampu melakukan pengurangan volume atau mampu memanfaatkan kembali limbah tersebut. Penerapan *sistem material substitution, equipment modification, new process technology, on site recovery and reuse*.
- 2) *Storage* (penyimpanan): penyimpanan sementara limbah berbahaya sebelum diolah atau dimusnahkan atau didaur-ulang. Penerapan sistem *good house keeping* dan *better process control*.
- 3) *Disposal* (pemusnahan/penyingkiran) : penyimpanan limbah berbahaya dengan cara yang dianggap aman dengan penimbunan dalam tanah. Penerapan sistem *good house keeping* dan *better process control*.

Pengusaha yang ingin berkecimpung dalam usaha ini harus memasukkan permohonan yang mencakup rancangan sarannya, termasuk juga cara analisis limbah B3 dan sebagainya. Bila usulan tersebut disetujui (bisa memakan waktu sampai 3 tahun), maka aktifitas tersebut dikomunikasikan pada masyarakat selama 45 hari (Wagner, 1990).

Sebelum adanya *Comprehensive Enviromental Respons, Compensation and Liabilites Act* (CERCLA), maka EPA hanya mampu

mengatur pengelolaan limbah berbahaya yang masih aktif dan baru ditutup. Sarana yang sudah ditutup sebelum peraturan ini keluar, tidak terjangkau oleh EPA. Oleh karenanya, CERCLA adalah berfungsi menangani "dosa masa lalu", terutama pada *landfill* limbah B3 yang tidak terkontrol. CERCLA diperkuat oleh SARA yang mengatur pengumpulan dana melalui pajak khusus untuk menjamin terlaksananya pembersihan lingkungan. Dengan CERCLA, maka USEPA mempunyai kewenangan untuk bertindak terutama bila berkaitan dengan pengaruh limbah B3 terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, misalnya karena terjadinya kebocoran, ledakan, kontaminasi terhadap rantai makanan atau pencemaran terhadap sumber-sumber air minum (Wagner, 1990).

Salah satu isu penting terhadap lahan pengurukan (*landfilling*) yang tidak terkontrol secara baik adalah bagaimana mengidentifikasi dan mengkuantifikasi resiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Terdapat dua jenis tindakan dari USEPA, yaitu (Wagner, 1990) :

- a) Penyingkiran (pengangkutan kembali) substansi berbahaya dan pembersihan segera bagian-bagian lahan, atau kegiatan-kegiatan stabilisasi sementara, sampai pemecahan final yang permanen diterapkan pada lahan tersebut, kegiatan ini bersifat program jangka pendek.
- b) Kegiatan yang bersifat penyembuhan (*remedial*), yang merupakan pemecahan yang permanen dari masalah yang timbul. Dalam kegiatan yang bersifat jangka panjang ini, termasuk pula penentuan kontribusi penanggungjawab atas masalah ini, serta proporsi beban dana yang dipikulkan pada masing-masing pelaku, yaitu *generator*, *transporter*, pemilik/pengoperasi sarana TSD.

6.2.1 Teknologi Pengolahan

Terdapat banyak metode pengolahan limbah B3 di industry Amerika Serikat, tiga metode yang paling populer di antaranya ialah *chemical conditioning*, *solidification/Stabilization*, dan *incineration* (Wentz, 1989).

1. *Chemical Conditioning*

Salah satu teknologi pengolahan limbah B3 ialah *chemical conditioning*. Tujuan utama dari *chemical conditioning* ialah (Wentz, 1989):

- menstabilkan senyawa-senyawa organik yang terkandung di dalam lumpur
- mereduksi volume dengan mengurangi kandungan air dalam lumpur
- mendestruksi organisme patogen
- memanfaatkan hasil samping proses *chemical conditioning* yang masih memiliki nilai ekonomi seperti gas methane yang dihasilkan pada proses *digestion*
- mengkondisikan agar lumpur yang dilepas ke lingkungan dalam keadaan aman dan dapat diterima lingkungan

Chemical conditioning terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut (Wentz, 1989):

1) *Concentration thickening*

Tahapan ini bertujuan untuk mengurangi volume lumpur yang akan diolah dengan cara meningkatkan kandungan padatan. Alat yang umumnya digunakan pada tahapan ini ialah *gravity thickener* dan *solid bowl centrifuge*. Tahapan ini pada dasarnya merupakan tahapan awal sebelum limbah dikurangi kadar airnya pada tahapan *de-watering* selanjutnya. Walaupun tidak sepopuler *gravity thickener* dan *centrifuge*, beberapa unit pengolahan limbah menggunakan proses *flotation* pada tahapan awal ini.

2) *Treatment, stabilization, and conditioning*

Tahapan kedua ini bertujuan untuk menstabilkan senyawa organik dan menghancurkan patogen. Proses stabilisasi dapat dilakukan melalui proses pengkondisian secara kimia, fisika, dan biologi. Pengkondisian secara kimia berlangsung dengan adanya proses pembentukan ikatan bahan-bahan kimia dengan partikel koloid. Pengkondisian secara fisika berlangsung dengan jalan memisahkan bahan-bahan kimia dan koloid dengan cara pencucian dan destruksi.

Pengkondisian secara biologi berlangsung dengan adanya proses destruksi dengan bantuan enzim dan reaksi oksidasi. Proses-proses yang terlibat pada tahapan ini ialah *lagoooning*, *anaerobic digestion*, *aerobic digestion*, *heat treatment*, *polyelectrolite flocculation*, *chemical conditioning*, dan *elutriation*.

3) *De-watering and drying*

De-watering and drying bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan air dan sekaligus mengurangi volume lumpur. Proses yang terlibat pada tahapan ini umumnya ialah pengeringan dan filtrasi. Alat yang biasa digunakan adalah *drying bed*, *filter press*, *centrifuge*, *vacuum filter*, dan *belt press*.

4) *Disposal*

Disposal ialah proses pembuangan akhir limbah B3. Beberapa proses yang terjadi sebelum limbah B3 dibuang ialah *pyrolysis*, *wet air oxidation*, dan *composting*. Tempat pembuangan akhir limbah B3 umumnya ialah *sanitary landfill*, *crop land*, atau *injection well*.

2. *Solidification/Stabilization*

Di samping *chemical conditioning*, teknologi *solidification/stabilization* juga dapat diterapkan untuk mengolah limbah B3. Secara umum stabilisasi dapat didefinisikan sebagai proses pencampuran limbah dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan menurunkan laju migrasi bahan pencemar dari limbah serta untuk mengurangi toksisitas limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi didefinisikan sebagai proses pemadatan suatu bahan berbahaya dengan penambahan aditif. Kedua proses tersebut seringkali terkait sehingga sering dianggap mempunyai arti yang sama. Proses *solidifikasi/stabilisasi* berdasarkan mekanismenya dapat dibagi menjadi 6 golongan, yaitu (Wentz, 1989):

- 1) *Macroencapsulation*, yaitu proses dimana bahan berbahaya dalam limbah dibungkus dalam matriks struktur yang besar
- 2) *Microencapsulation*, yaitu proses yang mirip *macroencapsulation* tetapi bahan pencemar terbungkus secara fisik dalam struktur kristal pada tingkat mikroskopik

- 3) *Precipitation*
- 4) *Adsorpsi*, yaitu proses dimana bahan pencemar diikat secara elektrokimia pada bahan pematat melalui mekanisme adsorpsi.
- 5) *Absorpsi*, yaitu proses solidifikasi bahan pencemar dengan menyerapkannya ke bahan padat
- 6) *Detoxification*, yaitu proses mengubah suatu senyawa beracun menjadi senyawa lain yang tingkat toksisitasnya lebih rendah atau bahkan hilang sama sekali

Teknologi solidifikasi/stabilisasi umumnya menggunakan semen, kapur (CaOH_2), dan bahan termoplastik. Metoda yang diterapkan di lapangan ialah metoda *in-drum mixing*, *in-situ mixing*, dan *plant mixing* (Wentz, 1989).

3. *Incineration*

Teknologi pembakaran (*incineration*) adalah alternatif yang menarik dalam teknologi pengolahan limbah. Insinerasi mengurangi volume dan massa limbah hingga sekitar 90% (volume) dan 75% (berat). Teknologi ini sebenarnya bukan solusi final dari sistem pengolahan limbah padat karena pada dasarnya hanya memindahkan limbah dari bentuk padat yang kasat mata ke bentuk gas yang tidak kasat mata. Proses insinerasi menghasilkan energi dalam bentuk panas. Namun, insinerasi memiliki beberapa kelebihan di mana sebagian besar dari komponen limbah B3 dapat dihancurkan dan limbah berkurang dengan cepat. Selain itu, insinerasi memerlukan lahan yang relatif kecil (Wentz, 1989).

Aspek penting dalam sistem insinerasi adalah nilai kandungan energi (*heating value*) limbah. Selain menentukan kemampuan dalam mempertahankan berlangsungnya proses pembakaran, heating value juga menentukan banyaknya energi yang dapat diperoleh dari sistem insinerasi. Jenis insinerator yang paling umum diterapkan untuk membakar limbah padat B3 ialah *rotary kiln*, *multiple hearth*, *fluidized bed*, *open pit*, *single chamber*, *multiple chamber*, *aqueous waste injection*, dan *starved air unit*. Dari

semua jenis insinerator tersebut, *rotary kiln* mempunyai kelebihan karena alat tersebut dapat mengolah limbah padat, cair, dan gas secara simultan (Wentz, 1989).

6.2.2 Penanganan Limbah B3



Gambar 20. Hazardous Material Container (Wentz, 1989)

Limbah B3 harus ditangani dengan perlakuan khusus mengingat bahaya dan resiko yang mungkin ditimbulkan apabila limbah ini menyebar ke lingkungan. Hal tersebut termasuk proses pengemasan, penyimpanan, dan pengangkutannya. Pengemasan limbah B3 dilakukan sesuai dengan karakteristik limbah yang bersangkutan. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa kemasan limbah B3 harus memiliki kondisi yang baik, bebas dari karat dan kebocoran, serta harus dibuat dari bahan yang tidak bereaksi dengan limbah yang disimpan di dalamnya (Wentz, 1989).

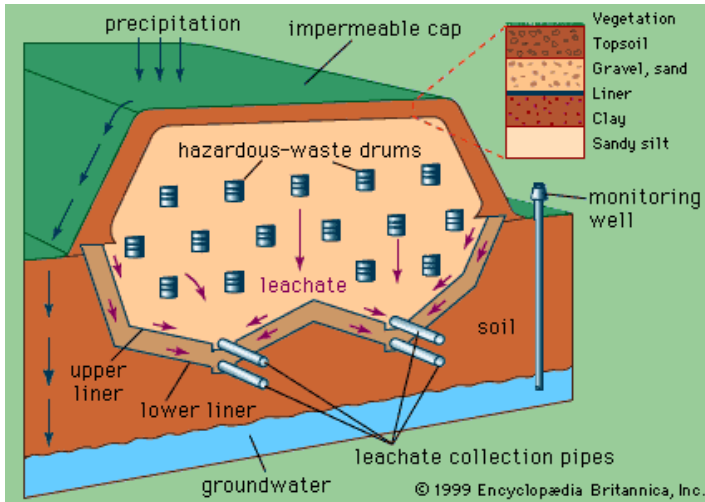
Untuk limbah yang mudah meledak, kemasan harus dibuat rangkap di mana kemasan bagian dalam harus dapat menahan agar zat tidak bergerak dan mampu menahan kenaikan tekanan dari dalam atau dari luar kemasan. Limbah yang bersifat *self-reactive* dan peroksida organik juga memiliki persyaratan khusus dalam pengemasannya. Pembantalan kemasan limbah jenis tersebut harus dibuat dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak mengalami penguraian (dekomposisi) saat berhubungan dengan limbah. Jumlah yang dikemas pun terbatas sebesar maksimum 50 kg per kemasan sedangkan limbah yang memiliki aktivitas rendah biasanya dapat dikemas hingga 400 kg per kemasan (Wentz, 1989).

Limbah B3 yang diproduksi dari sebuah unit produksi dalam sebuah industri harus disimpan dengan perlakuan khusus sebelum

akhirnya diolah di unit pengolahan limbah. Penyimpanan harus dilakukan dengan sistem blok dan tiap blok terdiri atas 2×2 kemasan. Limbah-limbah harus diletakkan dan harus dihindari adanya kontak antara limbah yang tidak kompatibel. Bangunan penyimpan limbah harus dibuat dengan lantai kedap air, tidak bergelombang, dan melandai ke arah bak penampung dengan kemiringan maksimal 1%. Bangunan juga harus memiliki ventilasi yang baik, terlindung dari masuknya air hujan, dibuat tanpa plafon, dan dilengkapi dengan sistem penangkal petir (Wentz, 1989).

Limbah yang bersifat reaktif atau korosif memerlukan bangunan penyimpan yang memiliki konstruksi dinding yang mudah dilepas untuk memudahkan keadaan darurat dan dibuat dari bahan konstruksi yang tahan api dan korosi (Wentz, 1989).

Mengenai pengangkutan limbah B3, Pemerintah Indonesia belum memiliki peraturan pengangkutan limbah B3 hingga tahun 2002. Namun, kita dapat merujuk peraturan pengangkutan yang diterapkan di Amerika Serikat. Peraturan tersebut terkait dengan hal pemberian label, analisa karakter limbah, pengemasan khusus, dan sebagainya. Persyaratan yang harus dipenuhi kemasan di antaranya ialah apabila terjadi kecelakaan dalam kondisi pengangkutan yang normal, tidak terjadi kebocoran limbah ke lingkungan dalam jumlah yang berarti. Selain itu, kemasan harus memiliki kualitas yang cukup agar efektivitas kemasan tidak berkurang selama pengangkutan. Limbah gas yang mudah terbakar harus dilengkapi dengan *head shields* pada kemasannya sebagai pelindung dan tambahan pelindung panas untuk mencegah kenaikan suhu yang cepat. Di Amerika juga diperlakukan rute pengangkutan khusus selain juga adanya kewajiban kelengkapan *Material Safety Data Sheets* (MSDS) yang ada di setiap truk dan di dinas pemadam kebakaran (Wentz, 1989).



Gambar 21. *Secured Landfill* (Wentz, 1989)

Faktor hidrogeologi, geologi lingkungan, topografi, dan faktor-faktor lainnya harus diperhatikan agar *secured landfill* tidak merusak lingkungan. Pemantauan pasca-operasi harus terus dilakukan untuk menjamin bahwa badan air tidak terkontaminasi oleh limbah B3 (Wentz, 1989).

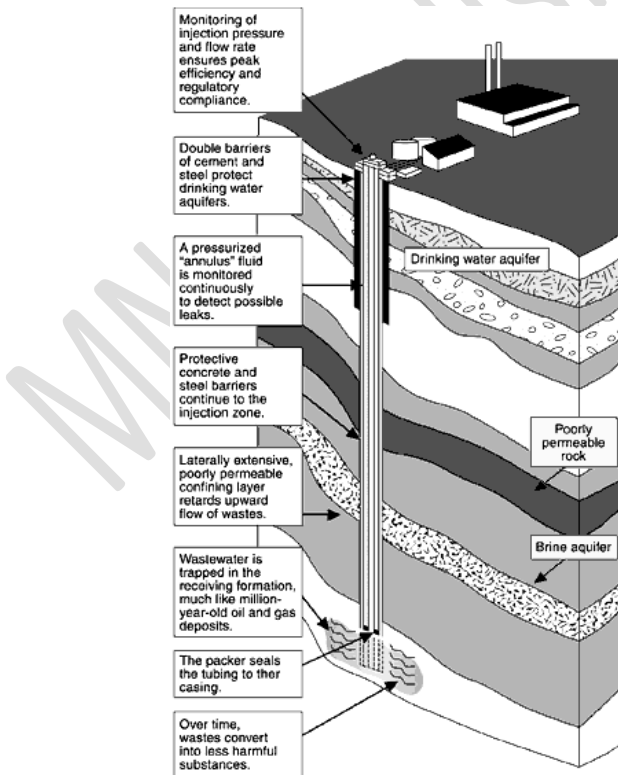
6.2.3 Pembuangan Limbah B3 (*Disposal*)

Sebagian dari limbah B3 yang telah diolah atau tidak dapat diolah dengan teknologi yang tersedia harus berakhir pada pembuangan (*disposal*). Tempat pembuangan akhir yang banyak digunakan untuk limbah B3 ialah *landfill* (lahan urug) dan *disposal well* (*sumur pembuangan*). Di Indonesia, peraturan secara rinci mengenai pembangunan lahan urug telah diatur oleh Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) melalui Kep-04/BAPEDAL/09/1995 (Wentz, 1989).

Landfill untuk penimbunan limbah B3 diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu: (1) *secured landfill double liner*, (2) *secured landfill single liner*, dan (3) *landfill clay liner* dan masing-masing memiliki ketentuan khusus sesuai dengan limbah B3 yang ditimbun (Wentz, 1989).

Dimulai dari bawah, bagian dasar *secured landfill* terdiri atas tanah setempat, lapisan dasar, sistem deteksi kebocoran, lapisan tanah penghalang, sistem pengumpulan dan pemindahan lindi (*leachate*), dan lapisan pelindung. Untuk kasus tertentu, di atas dan/atau di bawah sistem pengumpulan dan pemindahan lindi harus dilapisi *geomembran*. Sedangkan bagian penutup terdiri dari tanah penutup, tanah tudung penghalang, tudung *geomembran*, pelapis tudung drainase, dan pelapis tanah untuk tumbuhan dan vegetasi penutup (Wentz, 1989).

Secured landfill dilapisi sistem pemantauan kualitas air tanah dan air pemukiman di sekitar lokasi agar mengetahui apakah *secured landfill* bocor atau tidak. Selain itu, lokasi *secured landfill* tidak boleh dimanfaatkan agar tidak beresiko bagi manusia dan habitat di sekitarnya (Wentz, 1989).



Gambar 22. Deep Injection Well (Wentz, 1989)

Pembuangan limbah B3 melalui metode ini masih mejadi kontroversi dan masih diperlukan pengkajian yang komprehensif terhadap efek yang mungkin ditimbulkan. Data menunjukkan bahwa pembuatan sumur injeksi di Amerika Serikat paling banyak dilakukan pada tahun 1965-1974 dan hampir tidak ada sumur baru yang dibangun setelah tahun 1980 (Wentz, 1989).

Sumur injeksi atau sumur dalam (*deep well injection*) digunakan di Amerika Serikat sebagai salah satu tempat pembuangan limbah B3 cair (*liquid hazardous wastes*). Pembuangan limbah ke sumur dalam merupakan suatu usaha membuang limbah B3 ke dalam formasi geologi yang berada jauh di bawah permukaan bumi yang memiliki kemampuan mengikat limbah, sama halnya formasi tersebut memiliki kemampuan menyimpan cadangan minyak dan gas bumi. Hal yang penting untuk diperhatikan dalam pemilihan tempat ialah struktur dan kestabilan geologi serta hidrogeologi wilayah setempat (Wentz, 1989).

Limbah B3 diinjeksikan se dalam suatu formasi berpori yang berada jauh di bawah lapisan yang mengandung air tanah. Di antara lapisan tersebut harus terdapat lapisan *impermeable* seperti *shale* atau tanah liat yang cukup tebal sehingga cairan limbah tidak dapat bermigrasi. Kedalaman sumur ini sekitar 0,5 hingga 2 mil dari permukaan tanah (Wentz, 1989).

Tidak semua jenis limbah B3 dapat dibuang dalam sumur injeksi karena beberapa jenis limbah dapat mengakibatkan gangguan dan kerusakan pada sumur dan formasi penerima limbah. Hal tersebut dapat dihindari dengan tidak memasukkan limbah yang dapat mengalami presipitasi, memiliki partikel padatan, dapat membentuk emulsi, bersifat asam kuat atau basa kuat, bersifat aktif secara kimia, dan memiliki densitas dan viskositas yang lebih rendah daripada cairan alami dalam formasi geologi (Wentz, 1989).

Hingga saat ini di Indonesia belum ada ketentuan mengenai pembuangan limbah B3 ke sumur dalam (*deep injection well*). Ketentuan yang ada mengenai hal ini ditetapkan oleh Amerika Serikat dan dalam ketentuan itu disebutkah bahwa (Wentz, 1989):

1. Dalam kurun waktu 10.000 tahun, limbah B3 tidak boleh bermigrasi secara vertikal keluar dari zona injeksi atau secara lateral ke titik temu dengan sumber air tanah.
2. Sebelum limbah yang diinjeksikan bermigrasi dalam arah seperti disebutkan di atas, limbah telah mengalami perubahan hingga tidak lagi bersifat berbahaya dan beracun.

6.3 Limbah Cair

6.3.1 Pengendalian di dalam industri kertas Amerika (mengganti teknologi/*new processes technology*)

Karena banyak bahan perusak lingkungan dihasilkan oleh industri konvensional penghasil pulp yang dikelantang dengan proses kraft atau sulfit, maka banyak industri baru dirancang untuk pembuatan pulp secara termo-mekanik atau kimia-mekanik. Proses sulfit dan kraft tanpa pengambilan kembali bahan kimia khususnya yang menimbulkan pencemaran, sebaiknya dipertimbangkan untuk tidak digunakan dalam industri baru (Alabama, 2001).

Pengelantangan dengan menggunakan senyawa klorin menimbulkan hidrokarbon klor dengan kadar yang tidak dapat diterima oleh lingkungan, termasuk dioksin. Akhir-akhir ini pengelantangan dengan menggunakan oksigen dan peroksida mulai digunakan untuk menggantikan klor. Pengelantangan dengan menggunakan oksigen menghasilkan produk dengan kualitas lebih tinggi daripada yang menggunakan klor. Demikian juga, pengelantangan dengan penukaran (di mana zat-zat warna asli pada serat ditukar dengan zat pemutih) mulai dipasang pada industri-industri baru, menghasilkan lebih sedikit buangan dari kilang pengelantangan (Alabama, 2001).

Langkah-langkah lain yang harus dimasukkan ke dalam industri baru termasuk (Alabama, 2001):

- 1) Sistem pengambilan kembali bahan kimia secara efisien. Penerapan sistem *creation of by-product*.
- 2) Pelepasan kulit kayu secara kering. Penerapan sistem *good housekeeping*.

- 3) Pembakaran limbah dan pengambilan panas kembali. Penerapan sistem *creation of by-product*.
- 4) Pendaaur-ulangan buangan kilang pengelantangan ke ketel pengambilan kembali bahan kimia. Penerapan sistem *on site recovery and reuse*.
- 5) Sistem pencucian *brownstock* bertahap banyak dengan aliran berlawanan yang efisien. Penerapan sistem *good housekeeping, better process control*.
- 6) Penggunaan klor dioksida untuk menggantikan klorin dalam proses pengelantangan konvensional. Penerapan sistem *material substitution* dan *changing the product*.
- 7) Pemasakan berlanjutan dalam proses pembuatan pulp secara kimia. Penerapan sistem *good housekeeping*.
- 8) Pengurangan lignin oksigen setelah pemasakan secara kimia. Penerapan sistem *equipment modification*.
- 9) Pengendalian penggunaan klor yang ketat dalam pengelantangan dengan cara pemantauan : apabila klor sisa dikurangi maka zat organik klor juga berkurang. Penerapan sistem *good housekeeping, better process control*.
- 10) Konservasi dan daur ulang air dalam industri kertas dapat mengurangi volume air limbah sebesar 77 %. Penerapan sistem *on site recovery and reuse*.
- 11) Sistem deteksi dan pengambilan kembali tumpahan. Penerapan sistem *creation of by-product*.

Beberapa langkah pengendalian tersebut, telah menerapkan sistem *Cleaner production*.

6.3.2 Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan eksternal pada operasi pulp dan kertas mencakup ekualisasi netralisasi, pengolahan primer, pengolahan sekunder dan tahap pemolesan. Kerana gangguan dari proses dan fluktuasi pada pemuatan limbah awal, biasanya industri kertas modern memiliki tempat penampungan dan netralisasi limbah yang memadai sebelum masuk ke tempat pengendapan primer yang pertama (Alabama, 2001).

Ayakan digunakan untuk menghilangkan benda-benda besar yang masuk kedalam limbah industri pulp atau kertas. Pengendapan primer biasanya terjadi di bak pengendapan atau bak penjernih. Bak pengendap yang hanya berfungsi atas dasar gaya berat, tidak memberi keluwesan operasional. Karena itu memerlukan waktu tinggal sampai 24 jam. Bak penjernih bulat yang dirancang dengan baik dapat menghilangkan sampai 80% zat padat tersuspensi dan 50-995 BOD (Alabama, 2001).

Untuk teknologi terbaik yang tersedia, pengendapan dapat ditingkatkan dengan menggunakan bahan flokulasi atau koagulasi disamping pengurangan bahan yang membutuhkan oksigen, pengolahan secara biologis mengurangi kadar racun dan meningkatkan mutu estetika buangan (bau, warna, potensi yang mengganggu dan rasa air). Apabila terdapat lahan yang memadai, laguna fakultatif dan laguna aerasi bisa digunakan. Laguna aerasi akan mengurangi 80% BOD buangan industri dengan waktu tinggal 10 hari (Alabama, 2001). Penerapan sistem *New Process Technology*.

Industri-industri di Amerika Utara sekarang dilengkapi dengan laguna aerasi bahkan dengan waktu tinggal yang lebih panjang, atau kadang-kadang dilengkapi dengan kolam aerasi pemolesan dan penjernihan akhir untuk lebih mengurangi BOD dan TSS sampai di bawah 30mg/L (Alabama, 2001).

Apabila tidak terdapat lahan yang memadai, maka proses lumpur aktif, parit oksidasi dan *trickling filter* banyak digunakan dengan hasil kualitas buangan yang sama, tetapi sering membutuhkan biaya operasinya lebih tinggi. Sekarang, pemolesan kapasitas yang diperbesar atau melalui pengolahan fisik atau kimia diterapkan di beberapa tempat untuk melindungi badan air penerima (Alabama, 2001).

6.3.3 Peraturan Kriteria Reuse Air

1. Pedoman Internasional (Pedoman WHO)

Pedoman WHO untuk memberikan “ pelindung kerangka kerja terpadu untuk memaksimalkan manfaat kesehatan masyarakat

terhadap air limbah, kotoran dan penggunaan greywater di bidang pertanian dan perikanan (Dahab)."

2. Pedoman Negara dan Persyaratan (A.S.) (Dahab):

a) Persyaratan federal Water Reuse

b) Pedoman AS-EPA

Didesinfeksi limbah tersier menggunakan: urban, irigasi tanaman, BOD = 10 mg / L; E.C. = none. Limbah sekunder didesinfeksi Menggunakan: terbatas akses irigasi, lanskap menggunakan, lahan basah konstruksi, BOD = 30 mg / L; TSS = 30mg / L; E.C. = 200/100 ml.

c) Persyaratan lembaga negara dan pedoman

d) Persyaratan Lokal (daerah dan kota)

e) Pedoman lain

6.4 Limbah Gas

Pengendalian pencemaran udara di Amerika dilakukan dengan dua cara yaitu pengendalian pada sumber pencemar dan pengenceran limbah gas. Pengendalian pada sumber pencemar merupakan metode yang lebih efektif karena hal tersebut dapat mengurangi keseluruhan limbah gas yang akan diproses dan yang pada akhirnya dibuang ke lingkungan. Di dalam sebuah industri/ industri kimia, pengendalian pencemaran udara terdiri dari dua bagian yaitu penanggulangan emisi debu dan penanggulangan emisi senyawa pencemar (CEFIC, 1999).

Alat-alat pemisah debu bertujuan untuk memisahkan debu dari aliran gas buang. Debu dapat ditemui dalam berbagai ukuran, bentuk, komposisi kimia, densitas, daya kohesi, dan sifat higroskopik yang berbeda. Maka dari itu, pemilihan alat pemisah debu yang tepat berkaitan dengan tujuan akhir pengolahan dan juga aspek ekonomis. Secara umum alat pemisah debu dapat diklasifikasikan menurut prinsip kerjanya (CEFIC, 1999):

- **Pemisah *Brown***

Alat pemisah debu yang bekerja dengan prinsip ini menerapkan prinsip gerak partikel menurut Brown. Alat ini dapat memisahkan debu dengan rentang ukuran 0,01 – 0,05 mikron.

Alat yang dipatenkan dibentuk oleh susunan filamen gelas dengan jarak antar filamen yang lebih kecil dari lintasan bebas rata-rata partikel.

- **Penapisan**

Deretan penapis atau filter bag akan dapat menghilangkan debu hingga 0,1 mikron. Susunan penapis ini dapat digunakan untuk gas buang yang mengandung minyak atau debu higroskopik.

- **Pengendap elektrostatis**

Alat ini mengalirkan tegangan yang tinggi dan dikenakan pada aliran gas yang berkecepatan rendah. Debu yang telah menempel dapat dihilangkan secara beraturan dengan cara getaran. Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan pengendap elektrostatis ini ialah didapatkannya debu yang kering dengan ukuran rentang 0,2 - 0,5 mikron. Secara teoritis seharusnya partikel yang terkumpulkan tidak memiliki batas minimum.



Gambar 23. *Electrostatic Precipitator* (CEPIC, 1999)

- **Pengumpul sentrifugal**

Pemisahan debu dari aliran gas didasarkan pada gaya sentrifugal yang dibangkitkan oleh bentuk saluran masuk alat. Gaya ini melemparkan partikel ke dinding dan gas berputar (*vortex*) sehingga debu akan menempel di dinding serta terkumpul pada dasar alat. Alat yang menggunakan prinsip ini digunakan untuk pemisahan partikel dengan rentang ukuran diameter hingga 10 mikron lebih.

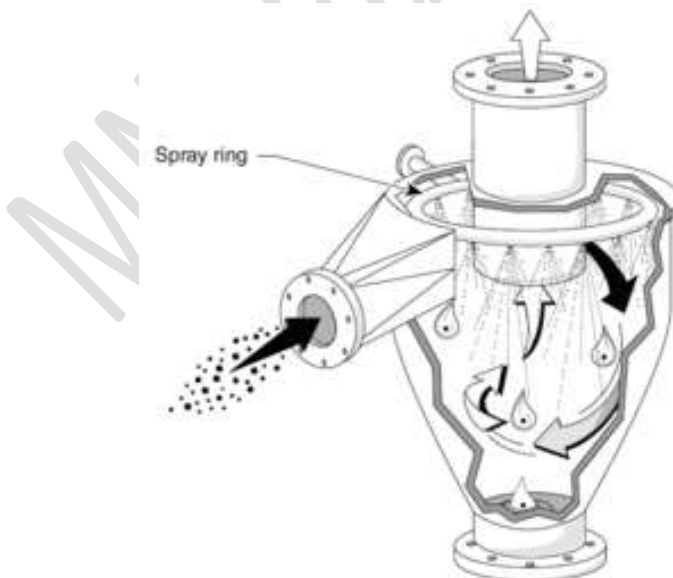
- **Pemisah inersia**

Pemisah ini bekerja atas gaya inersia yang dimiliki oleh partikel dalam aliran gas. Pemisah ini menggunakan susunan penyekat sehingga partikel akan bertumbukan dengan penyekat dan akan dipisahkan dari aliran fase gas. Alat yang bekerja berdasarkan prinsip inersia ini bekerja dengan baik untuk partikel yang berukuran hingga 5 mikron.

- **Pengendapan dengan gravitasi**

Alat yang bekerja dengan prinsip ini memanfaatkan perbedaan gaya gravitasi dan kecepatan yang dialami oleh partikel. Alat ini akan bekerja dengan baik untuk partikel dengan ukuran yang lebih besar dari 40 mikron dan tidak digunakan sebagai pemisah debu tingkat akhir.

Di industry Amerika, terdapat juga beberapa alat yang dapat memisahkan debu dan gas secara bersamaan (*simultan*). Alat-alat tersebut memanfaatkan sifat-sifat fisik debu sekaligus sifat gas yang dapat terlarut dalam cairan. Beberapa metoda umum yang dapat digunakan untuk pemisahan secara simultan ialah (CEFIC, 1999):



Gambar 24. *Irrigated Cyclone Scrubber* (CEFIC, 1999)

- **Menara percik**

Prinsip kerja menara percik ialah mengkontakkan aliran gas yang berkecepatan rendah dengan aliran air yang bertekanan tinggi dalam bentuk butiran. Alat ini merupakan alat yang relatif sederhana dengan kemampuan penghilangan sedang (*moderate*). Menara percik mampu mengurangi kandungan debu dengan rentang ukuran diameter 10-20 mikron dan gas yang larut dalam air.

- **Siklon basah**

Modifikasi dari siklon ini dapat menangani gas yang berputar lewat percikan air. Butiran air yang mendandung partikel dan gas yang terlarut akan dipisahkan dengan aliran gas utama atas dasar gaya sentrifugal. Slurry dikumpulkan di bagian bawah siklon. Siklon jenis ini lebih baik daripada menara percik. Rentang ukuran debu yang dapat dipisahkan ialah antara 3 – 5 mikron.

- **Pemisah venturi**

Metode pemisahan venturi didasarkan atas kecepatan gas yang tinggi pada bagian yang disempitkan dan kemudian gas akan bersentuhan dengan butir air yang dimasukkan di daerah sempit tersebut. Alat ini dapat memisahkan partikel hingga ukuran 0,1 mikron dan gas yang larut di dalam air.

- **Tumbukan *orifice plate***

Alat ini disusun oleh piringan yang berlubang dan gas yang lewat orifis ini membentur lapisan air hingga membentuk percikan air. Percikan ini akan bertumbukkan dengan penyekat dan air akan menyerap gas serta mengikat debu. Ukuran partikel paling kecil yang dapat diserap ialah 1 mikron.

- **Menara dengan *packing***

Prinsip penyerapan gas dilakukan dengan cara mengkontakkan cairan dan gas di antara packing. Aliran gas dan cairan dapat mengalir secara *co-current*, *counter-current*, ataupun *cross-current*. Ukuran debu yang dapat diserap ialah debu yang berdiameter lebih dari 10 mikron.

- **Pencuci dengan pengintian**

Prinsip yang diterapkan adalah pertumbuhan inti dengan kondensasi dan partikel yang dapat ditangani ialah partikel yang berdiameter hingga 0,01 mikron serta dikumpulkan pada permukaan filamen.

- **Pembentur turbulen**

Pembentur turben pada dasarnya ialah penyerapan partikel dengan cara mengalirkan aliran gas lewat cairan yang berisi bola-bola pejal. Partikel dapat dipisahkan dari aliran gas karena bertumbukkan dengan bola-bola tersebut. Efisiensi penyerapan gas bergantung pada jumlah tahap yang digunakan.

Untuk limbah berupa emisi udara yang dihasilkan dari proses produksi pulp, biasanya industri pulp di Amerika menggunakan alat-alat berupa *blow gas treatment* di unit *pulping*, *Electro Static Dust Precipitator* pada *Recovery Boiler*, dan *Wet Scrubber* di *Recausticizing Unit* (CEFIC, 1999).

Beberapa limbah atau proses yang menghasilkan emisi udara ini, beserta penanganannya ialah : Kondensat tercemar yang berasal dari proses digester dikumpulkan dan dialirkan ke unit penanganan kondensat di evaporator plant (CEFIC, 1999).

Noncondensable gas (NCG) dibakar sebagian menjadi limbah di *lime klin* (tanur kapur). Uap tekanan tinggi yang dihasilkan dari pembakaran bahan organik digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik dan steam tekanan menengah untuk pemanasan dalam proses di seluruh unit operasi produksi. Sisa bahan kimia menguap karena panas di unit pencucian. Uap diisap *blower* dan diarahkan ke sebuah menara penyerap yang berlangsung dua tahap (CEFIC, 1999).

Di menara ini digunakan larutan sodium hidroksida dan diinjeksikan dengan sulfur dioksida (reduktor) untuk menetralkan sisa bahan kimia berupa klorin dioksida (oksidator) sehingga gas yang keluar bebas dari unsur gas klorin dioksida. Limbah yang mengandung partikel solid dari cerobong boiler, baik dari *multi fuel boiler*, *recovery boiler*, maupun *lime kiln*. Untuk tujuan ini, industri pulp harus memiliki alat *electrostatic precipitator*. Sedangkan cerobong

asap dari *dissolving tank recovery boiler* dilengkapi dengan scrubber yang dialiri weak wash dari *recaust plant* (CEFIC, 1999).

Pemilihan Teknologi

Teknologi pengendalian harus dikaji secara seksama agar penggunaan alat tidak berlebihan dan kinerja yang diajukan oleh pembuat alat dapat dicapai dan memenuhi persyaratan perlindungan lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan teknologi pengendalian dan rancangan sistemnya ialah (CEFIC, 1999):

1. watak gas buang atau efluen (penerapan sistem *good housekeeping*)
2. tingkat pengurangan limbah yang dibutuhkan (penerapan sistem *equipment modification*)
3. teknologi komponen alat pengendalian pencemaran (penerapan sistem *new process technology*)
4. kemungkinan perolehan senyawa pencemar yang bernilai ekonomi (penerapan sistem *creation of by-product*)

Industri-industri di Indonesia terutama industri milik negara telah menerapkan sistem pengendalian pencemaran udara dan sistem yang sebagaimana diterapkan di Amerika, terutama dikaitkan dengan proses produksi serta penanggulangan pencemaran debu.

Teknologi yang dikembangkan di Amerika dan Indonesia, sebagian besar telah menerapkan sistem *Cleaner production* (produksi bersih) yang mencakup *Waste reduction at source, Recycling and Product modifications*.

LIMBAH RUMAH SAKIT

7.1 Rumah Sakit

7.1.1 Pengertian Rumah Sakit

Rumah Sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat (Undang-Undang RI No. 44 Tahun 2009 Tentang Rumah Sakit), Sedangkan menurut Siregar (2004) Rumah sakit adalah salah satu sarana kesehatan tempat menyelenggarakan upaya kesehatan. Upaya kesehatan adalah setiap kegiatan untuk memelihara dan meningkatkan kesehatan, bertujuan untuk mewujudkan derajat kesehatan yang optimal bagi masyarakat. Upaya kesehatan diselenggarakan dengan pendekatan pemeliharaan, peningkatan kesehatan (promotif), pencegahan penyakit (preventif), penyembuhan penyakit (kuratif), dan pemulihan kesehatan (rehabilitatif), yang dilaksanakan secara menyeluruh, terpadu, dan berkesinambungan (Siregar, 2004).

7.1.2 Klasifikasi Rumah Sakit

Berdasarkan Permenkes RI Nomor 340/MENKES/Per/11/2010 tentang klasifikasi rumah sakit, rumah sakit umum diklasifikasikan menjadi tipe A, tipe B, tipe C, dan tipe D.

a. Rumah Sakit Kelas A

Rumah Sakit Umum Kelas A harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 Pelayanan Medik Spesialis Dasar, 5 Pelayanan Spesialis Penunjang Medik, 12 Pelayanan Medik Spesialis Lain dan 13 Pelayanan Medik Sub

Spesialis. Kriteria, fasilitas dan kemampuan Rumah Sakit Umum Kelas A meliputi: Pelayanan Medik Umum, Pelayanan Gawat Darurat, Pelayanan Medik Spesialis Dasar, Pelayanan Spesialis Penunjang Medik, Pelayanan Medik Spesialis Lain, Pelayanan Medik Spesialis Gigi Mulut, Pelayanan Medik Sub Spesialis, Pelayanan Keperawatan dan Kebidanan, Pelayanan Penunjang Klinik, Dan Pelayanan Penunjang Non Klinik. Jumlah tempat tidur minimal 400 buah (PERMENKES RI, 2010).

b. Rumah Sakit Kelas B

Rumah Sakit Umum Kelas B harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 Pelayanan Medik Spesialis Dasar, 4 Pelayanan Spesialis Penunjang Medik, 8 Pelayanan Medik Spesialis Lainnya dan 2 Pelayanan Medik subspesialis Dasar. Jumlah tempat tidur minimal 200 buah (PERMENKES RI, 2010).

c. Rumah Sakit Kelas C

Rumah Sakit Umum Kelas C harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 Pelayanan Medik Spesialis Dasar dan 4 Pelayanan Spesialis Penunjang Medik. Kemampuan dan fasilitas rumah sakit meliputi Pelayanan Medik Umum, Pelayanan Gawat Darurat, Pelayanan Medik Spesialis Dasar, Pelayanan Keperawatan dan Kebidanan, Pelayanan Penunjang Klinik dan Pelayanan Penunjang Non Klinik. Jumlah tempat tidur minimal 100 buah (PERMENKES RI, 2010).

d. Rumah Sakit Kelas D

Rumah Sakit Umum Kelas D harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 2 Pelayanan Medik Spesialis Dasar. Jumlah tempat tidur minimal 50 buah (Permenkes RI No.340, 2010). Sama halnya dengan rumah sakit tipe C, rumah sakit tipe D juga menampung pelayanan yang berasal dari puskesmas. Kriteria, fasilitas, dan kemampuan Rumah Sakit Kelas D meliputi Pelayanan Medik Umum, Pelayanan Gawat Darurat, Pelayanan Medik Spesialis Dasar, Pelayanan Keperawatan dan Kebidanan, Pelayanan Penunjang Klinik, dan Pelayanan Penunjang Non Klinik (PERMENKES RI, 2010).

7.2 Limbah Rumah Sakit

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan 1204/Menkes/SK/X/2004, limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas. Limbah rumah sakit yang dihasilkan memiliki sifat berbahaya dan beracun harus segera dilakukan penanganan secara tepat. Limbah dapat didefinisikan dari jenis buangan dan sumbernya. Untuk limbah buangan dari rumah sakit berasal dari bagian tubuh maupun jaringan manusia dan binatang, arah atau cairan darah, zat eksresi, obat – obatan maupun dari produk kimia, kain pel ataupun pakaian, juga dari jarum suntik, gunting, dan benda tajam lainnya.

7.2.1 Sumber-Sumber Limbah Rumah Sakit

Limbah (padat) rumah sakit, berasal dari berbagai unit kegiatan yang ada di dalam kawasan rumah sakit, semakin banyak aktivitas dan tinggi kelasnya, semakin banyak unit-unit yang menghasilkan berbagai jenis limbah medis dan non-medis (KLH, 2014).

Berikut adalah salah satu contoh berbagai macam limbah medis dan non-medis (sampah) padat yang di dapat dari salah satu RSU di Indonesia dari berbagai ruangan:

Tabel 7. Contoh Sumber Limbah Rumah Sakit (KLH, 2014)

No.	Ruangan	Komposisi Limbah
1.	Bedah sentral	Bekas perban, kapas, kassa, potongan tubuh, jarum suntik, sarung tangan, botol infus, ampul, botol obat, kateter, selang.
2.	HD	Jarum suntik, selang, sarung tangan, perban, botol infus.
3.	Radiologi	Kertas, sarung tangan, tisu, plastik pembungkus.
4.	Rehabilitasi medik	Kapas, kertas, sarung tangan, masker

5.	UGD	Bekas perban, kapas, jarum suntik, ampul, kassa, kateter, botol infus, sarung tangan, botol minuman, selang
6.	ICU	Botol infus, kapas, bekas perban, kassa, jarum suntik, sarung tangan, masker
7.	Ruang Jenazah	Kapas, masker, sarung tangan
8.	Laboratorium	Botol, jarum, pipet, kardus dan kemasan
9.	Rawat inap	Bekas perban, botol infus, botol minuman, kateter, selang, kapas, plastik pembungkus makanan, sisa makanan, sterofoam, plastik
10.	Poliklinik	Kertas, botol plastik, jarum suntik, kapas, potongan jaringan tubuh, bekas perban
11.	Farmasi	Kertas, kardus, plastik pembungkus obat
12.	Kantin	Sisa makanan, plastik, kardus, botol minuman
13.	Dapur	Sisa makanan, plastik bungkus makanan
14.	Halaman, parker dan taman	Daun, kertas parkir, sisa makanan, botol minuman, putung rokok
15.	Musholla	Daun, plastik, putung rokok
16.	Linen	Plastik
17.	Kantor administrasi	Kertas, plastik pembungkus, kardus, alat tulis kantor, sisa makanan
18.	Gudang	Kardus, plastic

7.2.2 Karakteristik Limbah Rumah Sakit

Limbah rumah sakit adalah semua sampah dan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan kegiatan penunjang lainnya. Apabila dibanding dengan kegiatan instansi lain, maka dapat dikatakan bahwa jenis sampah dan limbah rumah sakit dapat dikategorikan kompleks. Meskipun secara umum limbah rumah sakit dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu limbah non-medis (sampah domestik) atau limbah medis yang berkategori sebagai limbah B3. Dari sisi bentuk, limbah-limbah tersebut bisa

beraneka macam, meskipun secara garis besar bentuk fisiknya dapat dibagi sebagai: limbah padat, cair maupun gas (KLH, 2014).

7.2.3 Klasifikasi Limbah Rumah Sakit

a. Limbah Medis

Limbah medis adalah yang berasal dari pelayanan medis, perawatan gigi, veterineri, farmasi atau sejenis, pengobatan, perawatan, penelitian atau pendidikan yang menggunakan bahan-bahan beracun dan infeksius berbahaya atau bisa membahayakan, kecuali jika mendapat perlakuan khusus tertentu. Limbah ini tergolong dalam kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) (KLH, 2014).

Limbah medis berdasarkan wujudnya dibedakan menjadi tiga, yaitu: (Asmarhany, 2014)

1) Limbah Medis Padat

Limbah medis padat adalah limbah padat yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radio aktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat.

2) Limbah Medis Cair

Limbah medis cair merupakan semua air buangan termasuk tinja yang berasal dari kegiatan rumah sakit yang berkemungkinan mengandung mikroorganisme bahan kimia beracun dan radioaktif yang berbahaya bagi kesehatan.

3) Limbah Medis Gas

Limbah medis gas adalah semua limbah yang berbentuk gas yang berasal dari kegiatan pembakaran di rumah sakit seperti insenerator, perlengkapan dapur, generator, inastesi, dan pembuatan obat sitotoksik.

Limbah medis berdasarkan pengolahannya dikelompokkan menjadi lima, yaitu: (Depkes RI, 2002)

1) Golongan A

Limbah padat yang memiliki sifat infeksius paling besar dari kegiatan yang berasal dari aktivitas kegiatan pengobatan

yang memungkinkan penularan penyakit jika mengalami kontak dengan limbah tersebut dengan media penularan bakteri, virus, parasit dan jamur. Adapun limbah padat medis golongan ini contohnya: Perban bekas pakai, Sisa potongan tubuh manusia, Pembalut, popok, Bekas infus atau *transfuse set*, Sisa binatang percobaan (Depkes RI, 2002).

2) Golongan B

Limbah padat yang memiliki sifat infeksius karena memiliki bentuk tajam yang dapat melukai dan memotong pada kegiatan terapi dan pengobatan yang memungkinkan penularan penyakit media penularan bakteri, virus, parasit, dan jamur. Adapun limbah padat medis golongan ini contohnya adalah: S spuit bekas, Jarum suntik bekas, Pisau bekas, Pecahan botol/ampul obat (Depkes RI, 2002).

3) Golongan C

Limbah padat yang memiliki sifat infeksius karena digunakan secara langsung oleh pasien yang memungkinkan penularan penyakit media penularan bakteri, virus, parasit, dan jamur. Adapun limbah padat medis golongan ini contohnya adalah: Parlak terkontaminasi, Tempat penampungan urin terkontaminasi, Tempat penampungan muntah terkontaminasi, Benda-benda lain yang terkontaminasi

4) Golongan D

Limbah padat farmasi seperti obat kadaluarsa, sisa kemasan dan kontainer obat, peralatan yang terkontaminasi bahan farmasi, obat yang dibuang karena tidak memenuhi syarat. Adapun limbah padat medis golongan ini adalah: Obat kadaluarsa, Kemasan obat dan bahan pembersih luka (Depkes RI, 2002).

5) Golongan E

Limbah padat sisa aktivitas yang dapat berupa *bed plan disposable*, pispot, dan segala bahan yang terkena buangan pasien. Adapun limbah padat medis golongan ini contohnya

adalah: Pispot tempat penampungan urin pasien, Tempat tampungan muntahan pasien (Depkes RI, 2002).

Limbah medis berdasarkan potensi yang terkandung di dalamnya dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1) Limbah Benda Tajam

Limbah benda tajam merupakan objek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi ujung, atau bagian penonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit. Misalnya, jarum *hipodermik*, perlengkapan *intravena*, pipet *pasteur*, pecahan gelas dan pisau bedah. Semua benda tajam ini memiliki potensi bahaya dan dapat menyebabkan cedera melalui sobekan atau tusukan. Benda-benda tajam yang terbuang mungkin terkontaminasi oleh darah, cairan tubuh, bahan mikrobiologi dan beracun, bahan sitotoksik atau radioaktif (KLH, 2014).

Limbah benda tajam mempunyai bahaya tambahan yang dapat menyebabkan infeksi atau cedera karena mengandung bahan kimia beracun atau radioaktif. Potensi untuk menyebabkan penyakit akan sangat besar bila benda tajam tersebut digunakan untuk pengobatan pasien infeksi. Benda tajam harus diolah dengan insinerator bila memungkinkan, dan dapat diolah bersama dengan limbah infeksius lainnya, kapsulisasi yang tepat untuk benda tajam (Adisasmito, 2009).

2) Limbah Infeksius

Limbah infeksius mencakup pengertian limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif) dan limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/isolasi penyakit menular. Namun beberapa institusi memasukkan juga bangkai hewan percobaan yang terkontaminasi atau yang diduga terkontaminasi oleh organisme patogen kedalam kelompok limbah infeksius. Limbah ini harus di sterilisasi dengan pegelohan panas dan basah seperti dalam *autoclave* sedini

mungkin, sedangkan yang lain cukup dengan cara disinfeksi (Adisasmito, 2009).

Kategori limbah infeksius meliputi :(Adisasmito, 2009)

- a) Kultur dan stok agen infeksius dari aktivitas di laboratorium;
 - b) Limbah buangan hasil operasi dan *otopsi* pasien yang menderita penyakit menular (misalnya jaringan, dan materi atau peralatan yang terkena darah atau cairan tubuh yang lain)
 - c) Limbah pasien yang menderita penyakit menular dari bangsal isolasi (misalnya *ekskreta*, pembalut luka bedah, atau luka yang terinfeksi, pakaian yang terkena darah pasien atau cairan tubuh yang lain).
 - d) Limbah yang sudah tersentuh pasien yang menjalani *haemodialisis* (misalnya peralatan dialisis seperti selang dan filter, handuk, baju RS, apron, sarung tangan sekali pakai dan baju laboratorium).
 - e) Instrumen atau materi lain yang tersentuh orang sakit.
- 3) Limbah Jaringan Tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi organ, anggota badan, plasenta, darah dan cairan tubuh yang biasanya dihasilkan pada saat pembedahan atau autopsi (KLH, 2014). Limbah ini dikategorikan berbahaya dan mengakibatkan resiko tinggi infeksi kuman terhadap pasien lain, staf rumah sakit dan populasi umum (pengunjung rumah sakit dan penduduk sekitar rumah sakit) sehingga dalam penanganannya membutuhkan labelisasi yang jelas (Adisasmito, 2009).

4) Limbah Sitotoksik

Limbah sitotoksik adalah limbah dari bahan yang terkontaminasi dari persiapan dan pemberian obat sitotoksik untuk kemoterapi kanker yang mempunyai kemampuan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan sel hidup (KLH, 2014). Limbah sitotoksik merupakan bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan

terapi sitotoksik (Adisasmito, 2009). Limbah yang termasuk dalam kategori limbah sitotoksik adalah limbah genotoksik (genotoxic) yang merupakan limbah bersifat sangat berbahaya, mutagenik (menyebabkan mutasi genetik), teratogenik (menyebabkan kerusakan embrio atau fetus), dan / atau karsinogenik (menyebabkan kanker) (KLH, 2014).

Penanganan limbah ini memerlukan *absorben* yang tepat dan bahan pembersihnya harus selalu tersedia dalam ruang peracikan. Bahan-bahan tersebut antara lain *swadust*, *granula absorpsi*, atau perlengkapan pembersih lainnya. Semua pembersih tersebut harus diperlakukan seperti limbah sitotoksik yang pemusnahannya harus menggunakan insinerator karena sifat racunnya yang tinggi. Limbah dengan kandungan obat sitotoksik rendah, seperti urin, tinja dan muntahan dapat dibuang ke dalam saluran air kotor. Limbah sitotoksik harus dimasukkan kedalam kantong plastik yang berwarna ungu yang akan dibuang setiap hari atau setelah kantong plastik penuh (Adisasmito, 2009).

Metode umum yang dilakukan dalam penanganan minimalisasi limbah sitotoksik adalah mengurangi jumlah penggunaannya, mengoptimalkan kontainer obat ketika membeli, mengembalikan obat yang kadaluarsa ke pemasok, memusatkan tempat penampungan bahan kemothorapi, meminimalkan limbah yang dihasilkan dan memberikan tempat pengumpulan, menyediakan alat pembersih tumpahan obat dan melakukan pemisahan limbah (Adisasmito, 2009).

5) Limbah Farmasi

Limbah farmasi dapat berasal dari obat-obatan yang kadaluarsa, obat-obatan yang terbuang karena *batch* yang tidak memenuhi spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat-obatan yang dikembalikan oleh pasien atau dibuang oleh masyarakat, obat-obatan yang tidak lagi diperlukan oleh institusi yang bersangkutan, dan limbah yang dihasilkan selama produkdi obat-obatan (KLH, 2014).

6) Limbah Kimia

Limbah kimia dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, *veterinary*, proses laboratorium, proses sterilisasi dan riset. Limbah berbahaya yang komposisinya berbeda harus dipisahkan untuk menghindari reaksi kimia yang tidak diinginkan. Cara pembuangan limbah kimia harus dikonsultasikan terlebih dahulu kepada instansi yang berwenang untuk menghindari pencemaran (Adisasmito, 2009).

7) Limbah Radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radioisotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radionucleida. Limbah ini berasal dari kedokteran nuklir, *radioimmunoassay* dan bakteriologis yang berbentuk padat, cair atau gas. Pengelolaan limbah radioaktif yang aman harus diatur dalam kebijakan dan strategi yang menyangkut peraturan, infrastruktur, organisasi pelaksana, dan tenaga yang terlatih khusus dibidang radiasi (Adisasmito, 2009).

Penyimpanan pada tempat sampah berplastik merah (Kepmeces RI No. 1204/MENKES/SK/X/2004). Limbah radioaktif harus ditampung sedemikian rupa sehingga kesehatan manusia dan lingkungan menjadi terlindungi; limbah tersebut tidak boleh ditampung di sekitar materi yang korosif, mudah meledak, atau mudah terbakar. Semua limbah radioaktif yang akan ditampung selama peluruhannya harus ditempatkan dalam kontainer yang sesuai dan dapat mencegah pancaran limbah di dalamnya (Raharjo, Rio; 2002).

b. Limbah Non-Medis

Limbah non-medis atau biasa disebut sebagai sampah domestik adalah limbah padat yang dihasilkan dari kegiatan di rumah sakit di luar medis yang berasal dari dapur, perkantoran, taman dan halaman yang dimanfaatkan kembali apabila ada teknologinya (KEPMENKES 1204/Menkes/SK/X/2004).

7.3 Dampak Limbah Rumah Sakit

Limbah rumah sakit terdiri dari limbah umum dan limbah yang berbahaya. Paparan dari limbah yang berbahaya dapat mengakibatkan penyakit atau cedera. Semua orang yang terpajan atau terpapar limbah berbahaya dari fasilitas penghasil limbah berbahaya, dan mereka yang berada di luar fasilitas serta memiliki pekerjaan yang mengelola limbah tersebut, atau yang beresiko akibat kecerobohan dalam sistem manajemen limbahnya (Pruss, 2005).

Menurut Wisaksono (2001) Pengaruh limbah rumah sakit terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan dapat menimbulkan berbagai masalah seperti :

1. Gangguan kenyamanan dan estetika
Berupa warna yang berasal dari sedimen, larutan, bau phenol, eutrofikasi dan rasa dari bahan kimia organik.
2. Kerusakan harta benda
Kerusakan yang dapat disebabkan oleh garam-garam yang terlarut (korosif, karat) air yang berlumpur dan sebagainya yang dapat menurunkan kualitas bangunan di sekitar rumah sakit
3. Gangguan kerusakan tanaman dan binatang
Gangguan yang dapat disebabkan oleh virus, senyawa nitrat, bahan kimia, pestisida, logam nutrient tertentu, dan fosfor.
4. Gangguan terhadap kesehatan manusia
Gangguan yang dapat disebabkan oleh berbagai jenis bakteri, virus, senyawasenyawa kimia, pestisida, serta logam seperti Hg, Pb, dan Cd yang berasal dari bagian kedokteran gigi.
5. Gangguan genetik dan reproduksi
Meskipun mekanisme gangguan belum sepenuhnya diketahui secara pasti, beberapa senyawa dapat menyebabkan gangguan atau kerusakan genetik dan sistem reproduksi manusia misalnya bahan radioaktif.

7.4 Pengolahan Limbah Rumah Sakit

Menurut Kepmenkes No.1204/MENKES/SK/X/2004 tentang persyaratan kesehatan lingkungan rumah sakit, pengelolaan

limbah rumah sakit yaitu rangkaian kegiatan mencakup segregasi, pengumpulan, pengangkutan, penyimpanan, pengolahan dan penimbunan limbah medis. Menurut WHO (2005) beberapa bagian penting dalam pengelolaan limbah rumah sakit yaitu minimasi limbah, pelabelan dan pengemasan, transportasi, penyimpanan, pengolahan dan pembuangan limbah. Proses pengelolaan ini harus menggunakan cara yang benar serta memperhatikan aspek kesehatan, ekonomis, dan pelestarian lingkungan.

Setiap peralatan yang digunakan dalam pengelolaan limbah medis mulai dari pengumpulan, pengangkutan, dan pemusnahan harus melalui sertifikasi dari pihak yang berwenang. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan: (1) menyeleksi bahan yang kurang menghasilkan limbah sebelum membelinya, (2) menggunakan sedikit mungkin bahan kimia, (3) mengutamakan metode pembersihan secara fisik daripada secara kimiawi, (4) mencegah bahan yang dapat menjadi limbah seperti dalam kegiatan perawatan dan kebersihan, (5) memonitor alur penggunaan bahan kimia dari bahan baku sampai menjadi limbah bahan berbahaya dan beracun, (6) memesan bahan sesuai kebutuhan, (7) menggunakan bahan yang diproduksi lebih awal untuk menghindari kadaluarsa, (8) menghabiskan bahan dari setiap kemasan, dan (9) mengecek tanggal kadaluarsa bahan pada saat diantar oleh distributor (Ditjen P2MPL,2004).

7.4.1 Minimisasi Limbah

Minimisasi limbah adalah upaya untuk mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang berasal dari kegiatan pelayanan kesehatan dengan cara reduksi pada sumbernya dan/pemanfaatan limbah berupa penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*) dan perolehan kembali (*recovery*) (Kepmenkes RI No. 1204, 2004). Pemanfaatan limbah medis yaitu upaya mengurangi volume, konsentrasi toksisitas dan tingkat bahaya yang menyebar di lingkungan. Pemanfaatan limbah dapat dilakukan setelah melakukan upaya reduksi pada sumber (Pruss, 2005).

7.4.2 Pemilahan Limbah

Pemilahan limbah berdasarkan warna kantong atau kontainer plastik yang digunakan merupakan cara yang paling tepat dalam pengelolaan limbah medis. Proses pemilahan dan pengurangan jumlah limbah merupakan persyaratan keamanan yang penting untuk petugas yang mengelola limbah. Menyediakan minimal tiga wadah terpisah pada sumbernya yang diberi label yang tepat dan ditempatkan pada tempat yang mudah terlihat dan terjangkau sehingga limbah dapat dengan mudah dipisahkan. Untuk limbah berbahaya dan sangat berbahaya, sebaiknya menggunakan kemasan ganda yaitu kantong plastik di dalam kontainer untuk memudahkan pembersihan (Pruss, 2005).

7.4.3 Pengumpulan Limbah Medis

Sampah biasanya ditampung di tempat produksi sampah untuk beberapa lama, oleh karena itu setiap unit hendaknya disediakan tempat penampungan dengan bentuk, ukuran, dan jumlah yang disesuaikan dengan jenis sampah serta kondisi setempat. Sampah sebaiknya tidak dibiarkan di tempat penampungan terlalu lama. Terkadang sampah juga diangkut langsung ke tempat penampungan blok atau pemusnahan. Penyimpanan limbah medis padat harus sesuai iklim tropis yaitu pada musim hujan paling lama 48 jam dan musim kemarau 24 jam (Ditjen P2MPL, 2004).

Tempat penampungan sampah hendaknya memenuhi persyaratan minimal sebagai berikut: (1) bahan tidak mudah karat, (2) kedap air, terutama untuk menampung sampah basah, (3) bertutup rapat, (4) mudah dibersihkan, (5) mudah dikosongkan atau diangkut, (6) tidak menimbulkan bising, (7) tahan terhadap benda tajam dan runcing (Pruss *et al.*, 2008).

Kantong plastik pelapis dan bak sampah dapat digunakan untuk memudahkan pengosongan dan pengangkutan. Kantong plastik tersebut membantu membungkus sampah waktu pengangkutan sehingga mengurangi kontak langsung mikroba

dengan manusia serta mengurangi bau, tidak terlihat sehingga memberi rasa estetis dan memudahkan pencucian bak sampah. Penggunaan kantong plastik ini terutama bermanfaat untuk sampah laboratorium. Ketebalan plastik disesuaikan dengan jenis sampah yang dibungkus agar petugas pengangkut sampah tidak mengalami cedera oleh benda tajam yang menonjol dari bungkus sampah (Ditjen P2MPL, 2004). Kantong plastik diangkat setiap hari apabila dua per tiga bagian telah terisi sampah. Benda tajam hendaknya ditampung pada tempat khusus (*safety box*) seperti botol atau karton yang aman.

7.4.4 Pengangkutan Limbah Medis

Setelah proses pengumpulan, tahap selanjutnya adalah pengangkutan limbah. Pengangkutan limbah dilakukan oleh petugas kebersihan dari sumber penghasil limbah. Pengangkutan limbah medis harus menggunakan alat angkut berupa kereta, gerobak atau troli. Limbah harus diangkut dengan alat angkut yang sesuai untuk mengurangi risiko yang dihadapi pekerja yang terpajan limbah. Pengangkutan limbah dari ruang/unit yang ada di rumah sakit ke tempat penampungan limbah sementara melalui rute yang paling cepat yang harus direncanakan sebelum perjalanan dimulai atau yang sudah ditetapkan (Pruss, 2005).

7.4.5 Tempat Penampungan Sementara

Sarana ini harus disediakan dalam ukuran yang memadai dan kondisi yang baik (tidak bocor, tertutup rapat, dan terkunci). Sarana ini bias ditempatkan di dalam atau luar gedung. Konstruksi tempat pengumpulan sampah sementara bias dari dinding semen atau kontainer logam dengan syarat tetap yaitu kedap air, mudah dibersihkan, dan tertutup rapat. Ukuran hendaknya tidak terlalu besar sehingga mudah dikosongkan, apabila jumlah sampah yang ditampung cukup banyak perlu menambah jumlah kontainer (Munif Arifin, 2010).

Bagi rumah sakit yang mempunyai insenerator di lingkungannya harus membakar limbahnya paling lambat 24 jam.

Bagi rumah sakit yang tidak mempunyai insenerator, maka limbah medis padat harus dimusnahkan melalui kerjasama dengan pihak lain yang mempunyai insenerator untuk dilakukan pemusnahan paling lambat 24 jam apabila disimpan pada suhu ruang (Ditjen P2MPL, 2004).

7.4.6 Teknologi Pengolahan dan Pembuatan Limbah Rumah Sakit

Sebagian besar limbah klinis dan yang sejenis itu dibuang dengan insenerator atau *landfill*. Metode yang digunakan tergantung pada faktor khusus yang sesuai dengan institusi, peraturan yang berlaku, dan aspek lingkungan yang berpengaruh terhadap masyarakat. Penanganan untuk limbah yang berasal dari rumah sakit, sebelum dibuang ke *landfill*, limbah harus mendapat perlakuan yaitu:

a. Insenerasi

Insenerasi adalah proses pembakaran sampah dengan suhu tinggi yang dapat dikendalikan. Penggunaan insenerator dalam pengolahan limbah medis merupakan salah satu cara pengolahan yang lazim dilakukan di rumah sakit karena tidak membutuhkan lahan yang luas secara praktis dalam pengoperasiannya. Jika dioperasikan dengan benar, dapat memusnahkan patogen dari limbah dan mengurangi kuantitas limbah menjadi abu. Perlengkapan insenerasi harus diperhatikan dengan cermat berdasarkan sarana dan prasarana serta situasi di rumah sakit (Pruss, 2005).

Insenerator sekala kecil yang digunakan di rumah sakit dengan kapasitas 200-1000 kg per hari, dioperasikan berdasarkan permintaan. Insenerator untuk limbah medis rumah sakit dioperasikan pada suhu antara 900-1200°C. Pemasukan limbah dilakukan secara manual.

Pembersihan debu dilakukan setiap hari atau setiap 2-3 hari. Pengeluaran abu dilakukan dengan menggunakan sekop dan proses pembakaran dapat berjalan secara otomatis.

Pengoperasian insenerator harus dilakukan oleh petugas yang sudah mendapatkan pelatihan dan harus selalu dipantau terhadap pembacaan parameter operasional dan kondisi insenerato

b. Autoclaving

Autoclaving merupakan proses desinfeksi termal basah yang efisien. Biasanya, autoclave dipakai di rumah sakit untuk sterilisasi alat yang dapat didaur ulang, dan unit ini hanya mampu member perlakuan pada limbah yang jumlahnya terbatas. Dengan demikian, *autoklaf* umumnya digunakan hanya untuk limbah yang sangat infeksius, seperti kultur mikroba dan benda tajam. Kantong limbah plastik biasa hendaknya tidak digunakan karena tidak tahan panas dan akan meleleh selama *autoclaving*. Karena itu diperlukan kantong *autoclaving*. Pada kantong ini terdapat indicator, seperti pita autoclave yang menunjukkan bahwa kantong telah mengalami perlakuan panas yang cukup (Pruss, 2005).

Autoklaf yang digunakan secara rutin untuk limbah biologis harus diuji minimal setahun sekali untuk menjamin hasil yang optimal. Rumah sakit dengan sarana-prasarana terbatas harus memiliki satu *autoklaf* (Pruss, 2005). Kelebihan dari proses ini adalah lebih efisien, ramah lingkungan, dan biaya operasional yang relative rendah. Kelemahannya adalah hanya dapat mengolah limbah dalam jumlah terbatas dan jenis tertentu.

c. Desinfeksi dengan Bahan Kimia

Desinfeksi kimia merupakan suatu proses yang efisien, tetapi sangat mahal jika harga desinfektannya lebih tinggi. Agar pelaksanaan berlangsung aman, diperlukan teknisi ahli yang dibekali dengan peralatan pelindung yang adekuat sehingga metode ini tidak direkomendasikan untuk semua limbah infeksius, namun sangat bermanfaat untuk limbah benda tajam yang dapat didaur ulang atau desinfeksi kotoran dari pasien kolera (Pruss, 2005).

d. Sanitary Landfill

Sanitary landfill didesain dengan sedikitnya empat kelebihan dari metode pembuangan terbuka: isolasi limbah secara geologis dari lingkungan, persiapan teknis yang tepat sebelum lokasi siap menerima limbah, staf ada ditempat untuk mengontrol aktifitas operasional, dan pembuangan serta penutupan limbah setiap hari yang terkelola. Rekomendasi lain yang dapat digunakan untuk pembuangan limbah rumah sakit yaitu dengan menggali lubang kecil sedalam 2 meter dan tinggi isinya harus mencapai 1-1,5 meter. Setelah diisi limbah, lubang harus segera ditutup dengan lapisan tanah setebal 10-15 cm. Jika tidak mungkin ditutup dengan tanah, batu kapur dapat dihamburkan diatas limbah. Dengan metode ini akan mempermudah *staf landfill* untuk mengawasi pemulungan (Pruss, 2005).

7.5 Persyaratan Pengelolaan Limbah Rumah Sakit sesuai Keputusan KEPMENKES No. 1204/Menkes/SK/X/2004

7.5.1 Limbah Medis Padat

7.5.1.1 Minimasi Limbah

1. Setiap rumah sakit harus melakukan reduksi limbah dimulai dari sumber.
2. Setiap rumah sakit harus mengelola dan mengawasi penggunaan bahan kimia yang berbahaya dan beracun.
3. Setiap rumah sakit harus melakukan pengelolaan stok bahan kimia dan farmasi.
4. Setiap peralatan yang digunakan dalam pengelolaan limbah medis mulai dari pengumpulan, pengangkutan, dan pemusnahan harus melalui sertifikasi dari pihak yang berwenang.

7.5.1.2 Pemilahan, Pewadahan, Pemanfaatan kembali dan Daur Ulang

1. Pemilahan limbah harus selalu dilakukan dari sumber yang menghasilkan limbah.

2. Limbah yang akan dimanfaatkan kembali harus dipisahkan dari limbah yang tidak dimanfaatkan kembali.
3. Limbah benda tajam harus dikumpulkan dalam satu wadah tanpa memperhatikan terkontaminasi atau tidaknya. Wadah tersebut harus anti bocor, anti tusuk dan tidak mudah untuk dibuka sehingga orang yang tidak berkepentingan tidak dapat membukanya.
4. Jarum dan *syringes* harus dipisahkan sehingga tidak dapat digunakan kembali.
5. Limbah medis padat yang akan dimanfaatkan kembali harus melalui proses sterilisasi sesuai Tabel 7, untuk menguji efektifitas sterilisasi panas harus dilakukan tes *Bacillus Stearothermophilus* dan untuk sterilisasi kimia harus dilakukan tes *Bacillus subtilis*.
6. Limbah jarum *hipodermik* tidak dianjurkan untuk dimanfaatkan kembali. Apabila rumah sakit tidak mempunyai jarum yang sekali pakai (*disposable*), limbah jarum *hipodermik* dapat dimanfaatkan kembali setelah melalui proses salah satu metode sterilisasi.
7. Pewadahan limbah medis padat harus memenuhi persyaratan dengan menggunakan wadah dan label seperti pada Tabel 2
8. Daur ulang tidak bisa dilakukan oleh rumah sakit kecuali untuk pemulihan perak yang dihasilkan dari proses film sinar X.
9. Limbah sitotoksis dikumpulkan dalam wadah yang kuat, anti bocor, dan diberi label bertuliskan "Limbah Sitotoksis".

7.5.1.3 Pengumpulan, Pengangkutan, dan Penyimpanan Limbah Media Padat di Lingkungan Rumah Sakit

1. Pengumpulan limbah medis padat dari setiap ruangan penghasil limbah menggunakan troli khusus yang tertutup.
2. Penyimpanan limbah medis padat harus sesuai iklim tropis yaitu pada musim hujan paling lama 48 jam dan musim kemarau paling lama 24 jam.

7.5.1.4 Pengumpulan, Pengemasan dan Pengangkutan ke Luar Rumah Sakit

1. Pengelola harus mengumpulkan dan mengemas pada tempat yang kuat.
2. Pengangkutan limbah ke luar rumah sakit menggunakan kendaraan khusus.




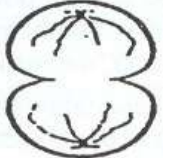
7.5.1.5 Pengolahan dan Pemusnahan

1. Limbah medis padat tidak diperbolehkan membuang langsung ke tempat pembuangan akhir limbah domestik sebelum aman bagi kesehatan.
2. Cara dan teknologi pengolahan atau pemusnahan limbah medis padat disesuaikan dengan kemampuan rumah sakit dan jenis limbah medis padat yang ada, dengan pemanasan menggunakan otoklaf atau dengan pembakaran menggunakan insinerator.

Tabel 8. Metode Sterilisasi Untuk Limbah yang Dimanfaatkan Kembali (KEPMENKES No. 1204/Menkes/SK/X/2004)

Metode Sterilisasi	Suhu	Waktu Kontak
Sterilisasi dengan panas		
• Sterilisasi kering dalam oven "poupinel"	160° C	120 menit
	170° C	60 menit
• Sterilisasi basah dalam otoklaf	121° C	30 menit
Sterilisasi dengan bahan kimia		
• Ethylene oxide (gas)	50° C -	3 - 8 jam
• Glutaraldehyde (cair)	60° C	30 menit

Tabel 9. Jenis Wadah dan label Limbah Medis Padat Sesuai Kategorinya (KEPMENKES No. 1204/Menkes/SK/X/2004)

No.	Kategori	Warna Kontainer/ Kantong Plastik	Lambang	Keterangan
1	Radioaktif	Merah		Kantong boks timbal dengan simbol radioaktif
2	Sangat Infeksius	Kuning		Kantong plastik kuat, anti bocor, atau kontainer yang dapat disterilisasi dengan otoklaf
3	Limbah Infeksius, patologi dan anatomi	Kuning		Kantong plastik kuat dan anti bocor, atau kontainer
4	Sitotoksik	Ungu		Kontainer plastik kuat dan anti bocor
5	Limbah kimia dan farmasi	Coklat	-	Kantong plastik atau kontainer

7.5.2 Limbah Medis Non Padat

7.5.2.1 Pemilahan dan Pewadahan

1. Pewadahan limbah padat non-medis harus dipisahkan dari limbah medis padat dan ditampung dalam kantong plastik warna hitam.
2. Tempat Pewadahan
 - a. Setiap tempat pewadahan limbah padat harus dilapisi kantong plastik warna hitam sebagai pembungkus limbah padat dengan lambang "domestik" warna putih.

- b. Bila kepadatan lalat disekitar tempat limbah pada melebihi 2 (dua) ekor per-block grill, perlu dilakukan pengendalian padat.

7.5.2.2 Pengumpulan, Penyimpanan, dan Pengangkutan

1. Bila di tempat pengumpulan sementara tingkat kepadatan lalat lebih dari 20 ekor per-block grill atau tikus terlihat pada siang hari, harus dilakukan pengendalian.
2. Dalam keadaan normal harus dilakukan pengendalian serangga dan binatang pengganggu yang lain minimal 1 (satu) bulan sekali.

7.5.2.3 Pengolahan dan Pemusnahan

Pengolahan dan pemusnahan limbah padat non-medis harus dilakukan sesuai persyaratan kesehatan.

7.5.3 Limbah Cair

Kalitas limbah (efluen) rumah sakit yang akan dibuang ke badan air atau lingkungan harus memenuhi persyaratan baku mutu efluen sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor Kep-58/MenLH/12/1995 atau peraturan daerah setempat.

7.5.4 Limbah Gas

Standar limbah gas (emisi) dari pengolahan pemusnah limbah medis padat dengan insinerator mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor Kep-13/MenLH/12/1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.

7.6 Tata Laksana Pengelolaan Limbah Rumah Sakit sesuai Keputusan KEPMENKES No. 1204/Menkes/SK/X/2004

7.6.1 Limbah Medis Padat

7.6.1.1 Minimasi Limbah

1. Menyeleksi bahan-bahan yang kurang menghasilkan limbah sebelum membelinya.
2. Menggunakan sedikit mungkin bahan-bahan kimia.
3. Mengutamakan metode pembersihan secara fisik daripada secara kimiawi.
4. Mencegah bahan-bahan yang dapat menjadi limbah seperti dalam kegiatan perawatan dan kebersihan.
5. Memonitor alur penggunaan bahan kimia dari bahan baku sampai menjadi limbah bahan berbahaya dan beracun.
6. Memesan bahan-bahan sesuai kebutuhan
7. Menggunakan bahan-bahan yang diproduksi lebih awal untuk menghindari kadaluarsa.
8. Menghabiskan bahan dari setiap kemasan
9. Mengecek tanggal kadaluarsa bahan-bahan pada saat diantar oleh distributor.

7.6.1.2 Pemilahan, Pewadahan, Pemanfaatan Kembali dan Daur Ulang

1. Dilakukan pemilahan jenis limbah medis padat mulai dari sumber yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sotoctosis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi.
2. Tempat pewadahan limbah medis padat :
 - a) Terbuat dari bahan yang kuat, cuup ringan, tahan karat, kedap air, dan mempunyai permukaan yang halus pada bagian dalamnya, misalnya fiberglass.

- b) Di setiap sumber penghasil limbah medis harus tersedia tempat pewadahan yang terpisah dengan limbah padat nonmedis.
 - c) Kantong plastik diangkat setiap haru atau kurang sehari apabila 2/3 bagian telah terisi limbah.
 - d) Untuk benda-benda tajam hendaknya ditampung pada tempat khusus (*safety box*) seperti botol atau karton yang aman.
 - e) Tempat pewadahan limbah medis padat infeksius dan sitotoksik yang tidak langsung kontak dengan limbah harus segera dibersihkan dengan larutan disinfektan apabila akan dipergunakan kembali, sedangkan untuk kantong plastik yang telah dipakai dan kontak langsung dengan limbah tersebut tidak boleh digunakan lagi.
3. Bahan atau alat yang dapat dimanfaatkan kembali setelah melalui sterilisasi meliputi pisau bedah (*scalpel*), jarum hipodermik, *syringes*, botol gelas, dan kontainer.
 4. Alat-alat lain yang dapat dimanfaatkan kembali setelah melalui sterilisasi adalah radionukleida yang telah diatur tahan lama untuk radioterapi seperti *puns*, *needles*, atau *seeds*.
 5. Apabila sterilisasi yang dilakukan adalah sterilisasi dengan *ethylene oxide*, maka tangki reactor harus dikeringkan sebelum dilakukan injeksi *ethylene oxide*. Oleh karena gas tersebut sangat berbahaya, maka sterilisasi harus dilakukan oleh petugas yang terlatih. Sedangkan sterilisasi dengan *glutaraldehyde* lebih aman dalam pengoperasiannya tetapi kurang efektif secara mikrobiologi.
 6. Upaya khusus harus dilakukan apabila terbukti ada kasus pencemaran *spongiform encephalopathies*

7.6.1.3 Tempat Penampungan Sementara

1. Bagi rumah sakit yang mempunyai insinerator di lingkungannya harus membakar limbahnya selambat-lambatnya 24 jam.

2. Bagi rumah sakit yang tidak mempunyai insinerator, maka limbah medis padatnya harus dimusnahkan melalui kerjasama dengan rumah sakit lain atau pihak lain yang mempunyai insinerator untuk dilakukan pemusnahan selambat-lambatnya 24 jam apabila disimpan pada suhu ruang.

7.6.1.4 Transportasi

1. Kantong limbah medis padat sebelum dimasukkan ke kendaraan pengangkut harus diletakkan dalam kontainer yang kuat dan tertutup.
2. Kantong limbah medis padat harus aman dari jangkauan manusia maupun binatang.
3. Petugas yang menangani limbah, harus menggunakan alat pelindung diri yang terdiri :
 - a) Topi/helm;
 - b) Masker;
 - c) Pelindung mata;
 - d) Pakaian panjang (coverall);
 - e) Apron untuk industri;
 - f) Pelindung kaki/sepatu boot; dan
 - g) Sarung tangan khusus (disposable gloves atau heavy duty gloves).

7.6.1.5 Pengolahan, Pemusnahan, dan Pembuangan Akhir Limbah Padat

1. Limbah Infeksius dan Benda Tajam
 - a) Limbah yang sangat infeksius seperti biakan dan persediaan agen infeksius dari laboratorium harus disterilisasi dengan pengolahan panas dan basah seperti dalam autoclave sedini mungkin. Untuk limbah infeksius yang lain cukup dengan cara disinfeksi.
 - b) Benda tajam harus diolah dengan insinerator bila memungkinkan, dan dapat diolah bersama dengan limbah

infeksius lainnya. Kapsulisasi juga cocok untuk benda tajam.

- c) Setelah insinerasi atau disinfeksi, residunya dapat dibuang ke tempat pembuangan B3 atau dibuang ke landfill jika residunya sudah aman.

2. Limbah Farmasi

- a) Limbah farmasi dalam jumlah kecil dapat diolah dengan insinerator pirolitik (*pyrolytic incinerator*), rotary kiln, dikubur secara aman, sanitary landfill, dibuang ke sarana air limbah atau inersisasi. Tetapi dalam jumlah besar harus menggunakan fasilitas pengolahan yang khusus seperti rotary kiln, kapsulisasi dalam drum logam, dan inersisasi.
- b) Limbah padat farmasi dalam jumlah besar harus dikembalikan kepada distributor, sedangkan bila dalam jumlah sedikit dan tidak memungkinkan dikembalikan, supaya dimusnahkan melalui insinerator pada suhu diatas 1.000°C .

3. Limbah Sitotoksis

- a) Limbah sitotoksis sangat berbahaya dan tidak boleh dibuang dengan penimbunan (landfill) atau ke saluran limbah umum.
- b) Pembuangan yang dianjurkan adalah dikembalikan ke perusahaan penghasil atau distribusinya, insinerasi pada suhu tinggi, dan degradasi kimia. Bahan yang belum dipakai dan kemasannya masih utuh karena kadaluarsa harus dikembalikan ke distributor apabila tidak ada insinerator dan diberi keterangan bahwa obat tersebut sudah kadaluarsa atau tidak lagi dipakai.
- c) Insinerasi pada suhu tinggi sekitar 1.200°C dibutuhkan untuk menghancurkan semua bahan sitotoksik. Insinerasi pada suhu rendah dapat menghasilkan uap sitotoksik yang berbahaya ke udara.
- d) Insinerator dengan 2 (dua) tungku pembakaran pada suhu 1.200°C dengan minimum waktu tinggal 2 detik atau suhu 1.000°C dengan waktu tinggal 5 detik di tungku kedua

sangat cocok untuk bahan ini dan dilengkapi dengan penyaring debu.

- e) Insinerator juga harus dilengkapi dengan peralatan pembersih gas. Insinerasi juga memungkinkan dengan rotary kiln yang didesain untuk dekomposisi panas limbah kimiawi yang beroperasi dengan baik pada suhu diatas 850° C.
 - f) Insinerator dengan 1 (satu) tungku atau pembakaran terbuka tidak tepat untuk pembuangan limbah sitotoksik.
 - g) Metode degradasi kimia yang mengubah senyawa sitotoksik menjadi senyawa tidak beracun dapat digunakan tidak hanya untuk residu obat tapi juga pencucian tempat urin, tumpahan dan pakaian pelindung.
 - h) Cara kimia relatif mudah dan aman meliputi oksidasi oleh Kalium permanganat (KMnO_4) atau asam sulfat (H_2SO_4), penghilangan nitrogen dengan asam bromida, atau reduksi dengan nikel dan aluminium.
 - i) Insinerasi maupun degradasi kimia tidak merupakan solusi yang sempurna untuk pengolahan limbah. Tumpahan atau cairan biologis yang terkontaminasi agen antineoplastik. Oleh karena itu, rumah sakit harus berhati-hati dalam menangani obat sitotoksik.
 - j) Apabila cara insinerasi maupun degradasi kimia tidak tersedia, kapsulisasi atau inersisasi dapat dipertimbangkan sebagai cara yang dapat dipilih.
4. Limbah Bahan Kimiawi
- a) Pembuangan Limbah Kimia Biasa
Limbah kimia biasa yang tidak bisa didaur seperti gula, asam amino, dan garam tertentu dapat dibuang ke saluran air kotor. Namun demikian, pembuangan tersebut harus memenuhi persyaratan konsentrasi bahan pencemar yang ada seperti bahan melayang, suhu, dan pH.
 - b) Pembuangan Limbah Kimia Berbahaya Dalam Jumlah Kecil

Limbah bahan berbahaya dalam jumlah kecil seperti residu yang terdapat dalam kemasan sebaiknya dibuang dengan insinerasi pirolitik, kapsulisasi, atau ditimbun (landfill).

- c) Pembuangan limbah kimia berbahaya dalam jumlah besar Tidak ada cara pembuangan yang aman dan sekaligus murah untuk limbah berbahaya. Pembuangannya lebih ditentukan kepada sifat v=bahaya yang dikandung oleh limbah tersebut. Limbah tertentu yang bisa dibakar seperti banyak bahan pelarut dapat diinsinerasi. Namun, bahan pelarut dalam jumlah besar seperti pelarut halogenida yang mengandung klorin atau florin tidak boleh diinsinerasi kecuali insineratornya dilengkapi dengan alat pembersih gas.
- d) Cara lain adalah dengan mengembalikan bahan kimia berbahaya tersebut ke distributornya yang akan menanganinya dengan aman, atau dikirim ke negara lain yang mempunyai peralatan yang cocok untuk megolahnya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan limbah kimia berbahaya:
- Limbah berbahaya yang komposisinya berbeda harus dipisahkan untuk menghindari rekasi kimia yang tidak diinginkan.
 - Limbah kimia berbahaya dalam jumlah besar tidak boleh ditimbun karena dapat mencemari air tanah.
 - Limbah kimia disinfektan dalam jumlah besar tidak boleh dikapsulisasi karena sifatnya yang korosif dan mudah terbakar.
 - Limbah padat bahan kimia berbahaya cara pembuangannya harus dikonsultasikan terlebih dahulu kepada instansi yang berwenang.

5. Limbah Bahan Kimiawi

- a) Limbah dengan kandungan merkuri atau kadmium tidak boleh dibakar atau diinsinerasi karena berisiko mencemari udara dengan uap beracun dan tidak boleh dibuang ke landfill karena dapat mencemari air tanah.

- b) Cara yang disarankan adalah dikirim ke negara yang mempunyai fasilitas pengolahan limbah dengan kandungan logam berat tinggi. Bila tidak memungkinkan, limbah dibuang ke tempat penyimpanan yang aman sebagai pembuangan akhir untuk limbah yang berbahaya. Cara lain yang paling sederhana adalah dengan kapsulisasi kemudian dilanjutkan dengan landfill. Bila hanya dalam jumlah kecil dapat dibuang dengan limbah biasa.
6. Limbah Bahan Kimiawi
- a) Cara yang terbaik untuk menangani limbah kontainer bertekanan adalah dengan daur ulang atau penggunaan kembali. Apabila masih dalam kondisi utuh dapat dikembalikan ke distributor untuk pengisian ulang gas. Agen halogenida dalam bentuk cair dan dikemas dalam botol harus diperlakukan sebagai limbah bahan kimia berbahaya untuk pembuangannya.
- b) Cara pemuangan yang tidak diperbolehkan adalah pembakaran atau insinerasi karena dapat meledak.
- Kontainer yang masih utuh
 - Kontainer-kontainer yang harus dikembalikan ke penjualnya adalah :
 - Tabung atau silinder nitrogen oksida yang biasanya disatukan dengan peralatan anestesi.
 - Tabung atau silinder etilin oksida yang biasanya disatukan dengan peralatan sterilisasi.
 - Tabung bertekanan untuk gas lain seperti oksigen, nitrogen, karbon dioksida, udara bertekanan, siklopropana, hidrogen, gas elpiji, dan asetilin.
 - Kontainer yang sudah rusak

Kontainer yang rusak tidak dapat diisi ulang harus dihancurkan setelah dikosongkan kemudian baru dibuang ke landfill.
 - Kaleng aerosol

Kaleng aerosol kecil harus dikumpulkan dan dibuang bersama dengan limbah biasa dalam kantong plastik

hitam dan tidak untuk dibakar atau diinsinerasi. Limbah ini tidak boleh dimasukkan ke dalam kantong kuning karena akan dikirim ke insinerator. Kaleng aerosol dalam jumlah banyak sebaiknya dikembalikan ke penjualnya atau ke instalasi daur ulang bila ada.

7. Limbah Radioaktif

- a) Pengelolaan limbah radioaktif yang aman harus diatur dalam kebijakan dan strategi nasional yang menyangkut peraturan, infrastruktur, organisasi pelaksana, dan tenaga yang terlatih.
- b) Setiap rumah sakit yang menggunakan sumber radioaktif yang terbuka untuk keperluan diagnosa, terapi atau penelitian harus menyiapkan tenaga khusus yang terlatih khusus di bidang radiasi.
- c) Tenaga tersebut bertanggung jawab dalam pemakaian bahan radioaktif yang aman dan melakukan pencatatan.
- d) Instrumen kalibrasi yang tepat harus tersedia untuk monitoring dosis dan kontaminasi. Sistem pencatatan yang baik akan menjamin pelacakan limbah radioaktif dalam pengiriman maupun pembuangannya dan selalu diperbarui datanya setiap waktu
- e) Limbah radioaktif harus dikategorikan dan dipilah berdasarkan ketersediaan pilihan cara pengolahan, pengkondisian, penyimpanan, dan pembuangan. Kategori yang memungkinkan adalah :
 - Umur paruh (half-life) seperti umur pendek (short-lived), (misalnya umur paruh < 100 hari), cocok untuk penyimpanan pelapukan,
 - Aktifitas dan kandungan radionuklida,
 - Bentuk fisika dan kimia,
 - Cair : berair dan organik,
 - Tidak homogen ((seperti mengandung lumpur atau padatan yang melayang),

- Padat : mudah terbakar/ tidak mudah terbakar (bila ada) dan dapat dipadatkan/tidak mudah dipadatkan (bila ada)
 - Sumber tertutup atau terbuka seperti sumber tertutup yang dihabiskan,
 - Kandungan limbah seperti limbah yang mengandung bahan berbahaya (patogen, infeksius, beracun).
- f) Setelah pemilahan, setiap kategori harus disimpan terpisah dalam kontainer, dan kontainer limbah tersebut harus :
- Secara jelas diidentifikasi,
 - Ada simbol radioaktif ketika sedang digunakan
 - Sesuai dengan kandungan limbah,
 - Dapat diisi dan dikosongkan dengan aman,
 - Kuat dan saniter.
- g) Informasi yang harus dicatat pada setiap kontainer limbah:
- Nomor identifikasi,
 - Radionuklida,
 - Aktifitas (jika diukur atau diperkirakan) dan tanggal pengukuran,
 - Asal limbah (ruangan, laboratorium, atau tempat lain),
 - Angka dosis permukaan dan tanggal pengukuran,
 - Orang yang bertanggung jawab.
- h) Kontainer untuk limbah padat harus dibungkus dengan kantong plastik transparan yang dapat ditutup dengan isolasi plastik
- i) Limbah padat radioaktif dibuang sesuai dengan persyaratan teknis dan peraturan perundang-undangan yang berlaku (PP Nomor 27 Tahun 2002) dan kemudian diserahkan kepada BATAN untuk penanganan lebih lanjut atau dikembalikan kepada negara distributor. Semua jenis limbah medik termasuk limbah radioaktif tidak boleh dibuang ke tempat pembuangan akhir sampah domestik (landfill) sebelum dilakukan pengolahan terlebih dahulu sampai memenuhi persyaratan.

7.6.2 Limbah Padat Non-Medis

7.6.2.1 Pemilahan Limbah Padat Non-Medis

1. Dilakukan pemilahan limbah padat non-medis antara limbah yang dapat dimanfaatkan dengan limbah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali
2. Dilakukan pemilahan limbah padat non-medis antara limbah basah dan limbah kering.

7.6.2.2 Tempat Pewadahan Limbah padat Non-Medis

1. Terbuat dari bahan yang kuat, cukup ringan, tahan karat, kedap air, dan mempunyai permukaan yang mudah dibersihkan pada bagian dalamnya, misalnya fiberglass.
2. Mempunyai tutup yang mudah dibuka dan ditutup tanpa mengotori tangan.
3. Terdapat minimal 1 (satu) buah untuk setiap kamar atau sesuai dengan kebutuhan.
4. Limbah tidak boleh dibiarkan dalam wadahnya melebihi 3 x 24 jam atau apabila 2/3 bagian kantong sudah terisi oleh limbah, maka harus diangkut supaya tidak menjadi perindukan vektor penyakit atau binatang pengganggu.

7.6.2.3 Pengangkutan

Pengangkutan limbah padat domestik dari setiap ruangan ke tempat penampungan sementara menggunakan troli tertutup.

7.6.2.4 Tempat Penampungan Limbah Padat Non-Medis Sementara

1. Tersedia tempat penampungan limbah padat non-medis sementara dipisahkan antara limbah yang dapat dimanfaatkan dengan limbah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali. Tempat tersebut tidak merupakan sumber bau, dan lalat bagi lingkungan sekitarnya dilengkapi saluran untuk cairan lindi.

2. Tempat penampungan sementara limbah padat harus kedap air, tertutup dan selalu dalam keadaan tertutup bila sedang tidak diisi serta mudah dibersihkan.
3. Terletak pada lokasi yang jauh dijangkau kendaraan pengangkut limbah padat.
4. Dikosongkan dan dibersihkan sekurang-kurangnya 1 x 24 jam.

7.6.2.5 Pengolahan Limbah Padat

Upaya untuk mengurangi volume, mengubah bentuk atau memusnahkan limbah padat dilakukan pada sumbernya. Limbah yang masih dapat dimanfaatkan hendaknya dimanfaatkan kembali untuk limbah padat organik dapat diolah menjadi pupuk.

7.6.2.6 Lokasi Pembuangan Limbah Padat Akhir

Limbah padat umum (domestik) dibuang ke lokasi pembuangan akhir yang dikelola oleh pemerintah daerah (Pemda), atau badan lain sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

7.7 Limbah Cair

Limbah cair harus dikumpulkan dalam kontainer yang sesuai dengan karakteristik bahan kimia dan radiologi, volume, dan prosedur penanganan dan penyimpanannya.

1. Saluran pembuangan limbah harus menggunakan sistem saluran tertutup, kedap air, dan limbah harus mengalir dengan lancar, serta terpisah dengan saluran air hujan.
2. Rumah sakit harus memiliki instalasi pengolahan limbah cair sendiri atau bersama-sama secara kolektif dengan bangunan disekitarnya yang memenuhi persyaratan teknis, apabila belum ada atau tidak terjangkau sistem pengolahan air limbah perkotaan.
3. Perlu dipasang alat pengukur debit limbah cair untuk mengetahui debit harian limbah yang dihasilkan.
4. Air limbah dari dapur harus dilengkapi penangkap lemak dan saluran air limbah harus dilengkapi/ditutup dengan gril.

5. Air limbah yang berasal dari laboratorium harus diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), bila tidak mempunyai IPAL harus dikelola sesuai kebutuhan yang berlaku melalui kerjasama dengan pihak lain atau pihak yang berwenang.
6. Frekuensi pemeriksaan kualitas limbah cair terolah (effluent) dilakukan setiap bulan sekali untuk swapantau dan minimal 3 bulan sekali uji petik sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
7. Rumah sakit yang menghasilkan limbah cair yang mengandung atau terkena zat radioaktif, pengelolaannya dilakukan sesuai ketentuan BATAN.
8. Parameter radioaktif diberlakukan bagi rumah sakit sesuai dengan bahan radioaktif yang dipergunakan oleh rumah sakit yang bersangkutan.

7.8 Limbah Gas

1. Monitoring limbah gas berupa NO₂, SO₂, logam berat, dan dioksin dilakukan minimal 1 (satu) kali setahun
2. Suhu pembakaran minimum 1.000° C untuk pemusnahan bakteri patogen, virus, dioksin, dan mengurangi jelaga
3. Dilengkapi alat untuk mengurangi emisi gas dan debu.
4. Melakukan penghijauan dengan menanam pohon yang banyak memproduksi gas oksigen dan dapat menyerap debu.

MNC Publishing

LIMBAH RUMAH TANGGA

8.1 Regulasi Pengolahan Limbah Rumah Tangga

Regulasi merupakan suatu norma atau aturan hukum yang harus dipatuhi. Limbah merupakan bahan atau barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan dan/atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya, kecuali dapat dimakan atau diminum oleh manusia dan atau hewan (Ariwibowo, 1997). Limbah domestik merupakan limbah yang dihasilkan paling banyak tiap hari oleh berbagai aktivitas rumah tangga (Romayanto, 2006). Limbah rumah tangga adalah limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, cucian, limbah bekas industri rumah tangga dan kotoran manusia (Sunarsih, 2014).

Regulasi pengolahan limbah rumah tangga menurut Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012 meliputi:

1. Pemilahan

Pemilahan dilakukan melalui kegiatan pengelompokan sampah menjadi paling sedikit 5 jenis sampah yang terdiri atas:

- a. Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun serta limbah bahan berbahaya dan beracun. misalnya kemasan obat serangga, kemasan oli, kemasan obat-obatan, obat-obatan kadaluarsa, peralatan listrik, dan peralatan elektronik rumah tangga (Yudhoyono, 2012).
- b. Sampah yang mudah terurai antara lain sampah yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan/atau bagian-bagiannya yang dapat terurai oleh makluk hidup lainnya dan/atau mikroorganisme, misalnya sampah makanan (Yudhoyono, 2012).

- c. Sampah yang dapat digunakan kembali.
- d. Sampah yang dapat didaur ulang
- e. Sampah lainnya.

Jumlah sarana harus sesuai dengan jenis pengelompokkan sampah, diberi label atau tanda dan bahan, bentuk dan warna wadah.

2. Pengumpulan

Pengumpulan sampah wajib dilakukan dalam TPS (Tempat Pembuangan Sementara), TPS 3R atau alat pengumpul sampah terpilah. TPS dan/atau TPS 3R (*reduce at resource, reuse, recycle*) harus memenuhi persyaratan yaitu: luas lokasi dan kapasitas sesuai kebutuhan, lokasinya mudah diakses, tidak mencemari lingkungan dan memiliki jadwal pengumpulan dan pengangkutan (Yudhoyono, 2012).

3. Pengangkutan

Pengangkutan adalah kegiatan membawa sampah dari sumber atau TPS menuju TPST atau TPA dengan menggunakan kendaraan bermotor atau tidak bermotor yang didesain untuk mengangkut sampah (Yudhoyono, 2012).

4. Pengolahan

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012, pengolahan sampah dilakukan dalam fasilitas yang disediakan oleh pemerintah kabupaten/kota yang berupa TPS 3R, stasiun peralihan antara, TPA dan atau TPST (Yudhoyono, 2012).

5. Pemrosesan akhir sampah

Pemrosesan akhir sampah adalah kegiatan mengembalikan sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012, pemrosesan akhir sampah dilakukan dengan mengoperasikan TPA. Lokasi TPA paling sedikit memenuhi aspek geologi, hidrologi, kemiringan zona; jarak dari lapangan terbang, jarak dari permukiman, tidak berada di kawasan lindung/cagar alam dan/atau bukan merupakan daerah banjir periode ulang 25 (dua puluh lima) tahun (Yudhoyono, 2012).

Pemrosesan akhir sampah dilakukan dengan menggunakan 3 metode antara lain (Yudhoyono, 2012):

1. Metode lahan urug terkendali (*controlled landfill*) yaitu metode pengurugan di areal pengurugan sampah, dengan cara dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup sekurang-kurangnya setiap tujuh hari. Metode ini merupakan metode yang bersifat antara, sebelum mampu menerapkan metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*).
2. Metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*) yaitu sarana pengurugan sampah ke lingkungan yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurugan, serta penutupan sampah setiap hari.
3. Metode ramah lingkungan.

8.2 Sistem Pengolahan Limbah Rumah Tangga Domestik

Pengolahan limbah rumah tangga dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi dan jenis limbahnya. Dibawah ini merupakan jenis-jenis limbah rumah tangga dan pengolahannya (Sunarsih, 2014):

1. Limbah padat/sampah

Sampah adalah barang atau benda yang telah habis nilai manfaatnya (Widiarti, 2012). Adapun bentuk pengelolaan yang dianjurkan untuk menangani masalah sampah adalah sebagai berikut (Sunarsih, 2014):

a. Pemilahan

Pengelolaan sampah dapat dilakukan dengan mengadakan pemilahan sampah organik dan sampah anorganik oleh masing-masing rumah tangga. Bagi rumah tangga yang memiliki lahan, dapat mengolah sampah basah menjadi kompos yang berguna untuk tanaman, sedangkan untuk sampah kering seperti kertas, botol, plastik dan kaleng, sebelum dibuang sebaiknya dipilah dulu, dikarenakan sampah tersebut ada yang dapat didaur ulang atau digunakan kembali,

bisa juga diberikan kepada pemulung dan yang tidak bisa dipakai kembali dapat dibuang.

b. *Pewadahan*

Pola *pewadahan* yang direncanakan adalah pola individual, yaitu setiap keluarga menyediakan *pewadahan*, wadah ditempatkan di halaman depan rumah atau di pinggir jalan sehingga mempermudah pada saat pengumpulan dan pengangkutan. Maksud dari *pewadahan* sampah ini adalah untuk memisahkan sampah anorganik menurut jenisnya/bahan, agar memudahkan dalam proses pengolahan selanjutnya. *Pewadahan* yang merupakan suatu cara penampungan sampah untuk sementara sebelum dipindahkan ke tempat pembuangan sementara (TPS) atau (TPA). Untuk mencegah terjadinya kebocoran atau menimbulkan bau sehingga mengganggu lingkungan dan pernafasan, maka semua sampah harus disimpan dalam wadah yang memenuhi persyaratan sebagai berikut: (1) Tertutup, (2) Tidak mudah rusak dan kedap air, (3) Mudah dan cepat dikosongkan serta diangkut, (4) Ekonomis dan mudah diperoleh.

c. *Pengumpulan*

Untuk menangani masalah persampahan yang bersumber dari rumah tangga, pola pengumpulan yang dianjurkan adalah pola individual tak langsung, dimana sampah dikumpulkan oleh petugas kebersihan yang mendatangi tiap-tiap sumber sampah (rumah ke rumah) dan diangkut ke tempat pembuangan sementara (TPS). Pola pengumpulan lain yang menjadi alternatif adalah Pola komunal langsung adalah kegiatan pengambilan sampah dari masing-masing titik komunal dan diangkut langsung ke tempat pembuangan akhir tanpa melalui kegiatan pemindahan.

d. *Pengangkutan*

Jenis kendaraan pengangkut sampah yang digunakan untuk pola pengumpulan komunal langsung adalah

jenis compactor truck dengan kapasitas 6 m³ dan arm roll truck yang berkapasitas 4 m³. Kendaraan jenis compactor truck memiliki kelebihan dapat melakukan pengepresan sampah sehingga kapasitas daya tampungnya dapat ditingkatkan. Dalam pemuatan maupun pembongkaran sampah, compactor truck dan arm roll dilengkapi dengan lengan tarik hidrolik sehingga dapat bergerak secara otomatis yang dikendalikan oleh sopir sehingga tidak bersentuhan langsung dengan sampah.

e. Tempat pembuangan sementara (TPS)

Setelah sampah dikumpulkan dan diangkut, maka selanjutnya sampah dibuang ke tempat pembuangan sementara yang tersedia.

f. Penanganan sampah dengan konsep 3R

Upaya penanganan diharapkan dapat mengurangi jumlah sampah secara signifikan mulai dari sumbernya sampai sampai ke tempat pembuangan akhir. Ada beberapa cara menangani pengurangan sampah yang lebih dikenal dengan prinsip 3R meliputi kegiatan:

Reduce (mengurangi): kegiatan mengurangi sampah, tidak akan mungkin menghilangkan sampah secara keseluruhan tetapi secara teoritis aktivitas ini akan mengurangi sampah dalam jumlah yang nyata. Oleh karena itu kita harus mengurangi penggunaan bahan atau barang yang kita gunakan dalam aktivitas kita sehari-hari, karena semakin banyak kita menggunakan bahan atau barang, maka akan semakin banyak sampah yang dihasilkan. Mengurangi produksi sampah dapat dilakukan dengan cara:

- 1) Menggunakan bahan atau barang yang awet.
- 2) Mengurangi penggunaan barang sekali pakai.
- 3) Mengurangi belanja barang yang tidak terlalu dibutukan.
- 4) Merawat dan memperbaiki pakaian, mainan, perkakas dan peralatan rumah tangga daripada menggantinya dengan yang baru.

- 5) Menggunakan kantong plastik (kresek) 3 sampai 5 kali untuk berbelanja.
- 6) Menggunakan keranjang atau kantong yang dapat digunakan berulang ulang.

Reuse (Memakai kembali): Sebisa mungkin pilihlah barang-barang yang bisa dipakai kembali, hindari pemakaian barang yang sekali pakai, hal ini dapat memperpanjang waktu pemakaian barang sebelum menjadi sampah. Pemakaian kembali barang bekas tanpa harus memprosesnya dulu:

- 1) Menggunakan kembali kemasan untuk fungsi yang sama atau fungsi lainnya.
- 2) Memanfaatkan barang kemasan menjadi tempat penyimpanan sesuatu. Seperti kertas bekas, botol plastik, botol kaca masih dapat dipergunakan kembali untuk keperluan lainnya. Contohnya kertas, koran bekas dapat digunakan kembali sebagai pembungkus barang-barang, botol plastik digunakan sebagai tempat bibit tanaman.
- 3) Menggunakan bahan yang bisa dipakai ulang daripada yang sekali buang, sebagai misalnya: membeli batere yang dapat diisi ulang daripada batere sekali buang.

Recycle (Mendaur ulang): Sebisa mungkin barang-barang yang sudah tidak berguna lagi, bisa didaur ulang, tidak semua barang bisa didaur ulang namun saat ini sudah banyak industri formal yang memanfaatkan sampah menjadi barang lain. Sampah anorganik yang masih memiliki nilai ekonomis yang dapat didaur ulang (misalnya: kertas, plastik, gelas, kaleng, botol, sisa kain), dilakukan pengepakan kemudian dijual kepada pengepul sampah sedangkan sampah anorganik yang tidak dapat dimanfaatkan lagi dibuang ke TPA.

Daur ulang merupakan upaya untuk mengolah barang atau benda yang sudah tidak dipakai agar dapat dipakai kembali. Beberapa limbah anorganik yang dapat dimanfaatkan melalui proses daur ulang, misalnya plastik, gelas, logam, dan kertas.

1) Sampah plastik

Sampah plastik biasanya digunakan sebagai pembungkus barang. Plastik juga digunakan sebagai perabotan rumah tangga seperti ember, piring, gelas, dan lain sebagainya. Keunggulan barang-barang yang terbuat dari plastik yaitu tidak berkarat dan tahan lama. Banyaknya pemanfaatan plastik berdampak pada banyaknya sampah plastik. Padahal untuk hancur secara alami jika dikubur dalam tanah memerlukan waktu yang sangat lama. Karena itu, upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah plastik untuk didaur ulang menjadi barang yang sama fungsinya dengan fungsi semula maupun digunakan untuk fungsi yang berbeda. Misalnya ember plastik bekas dapat didaur ulang dan hasil daur ulangnya setelah dihancurkan dapat berupa ember kembali atau dibuat produk lain seperti sendok plastik, tempat sampah, atau pot bunga. Plastik dari bekas makanan ringan atau sabun deterjen dapat didaur ulang menjadi kerajinan misalnya kantong, dompet, tas laptop, tas belanja, sandal, atau payung. Botol bekas minuman bisa dimanfaatkan untuk membuat mainan anak-anak. Sedotan minuman dapat dibuat bunga-bunga, asbak, pot, bingkai foto, taplak meja, hiasan dinding atau hiasan lainnya.

2) Sampah logam

Sampah dari bahan logam seperti besi, kaleng, aluminium, timah, dan lain sebagainya dapat dengan mudah ditemukan di lingkungan sekitar kita. Sampah dari bahan kaleng biasanya yang paling banyak kita temukan dan yang paling mudah kita manfaatkan menjadi barang lain yang bermanfaat. Sampah dari bahan kaleng dapat dijadikan berbagai jenis barang kerajinan yang bermanfaat. Berbagai produk yang dapat dihasilkan dari limbah kaleng di antaranya tempat sampah, vas bunga, gantungan kunci, celengan, gif box dll.

3) Sampah Gelas atau Kaca

Sampah gelas atau kaca yang sudah pecah dapat didaur ulang menjadi barang-barang sama seperti barang semula atau menjadi barang lain seperti botol yang baru, vas bunga, cinderamata, atau hiasan-hiasan lainnya yang mempunyai nilai artistik dan ekonomis. 4. Sampah kertas Sampah dari kertas dapat didaur ulang baik secara langsung ataupun tak langsung. Secara langsung artinya kertas tersebut langsung dibuat kerajinan atau barang yang berguna lainnya. Sedangkan secara tak langsung artinya kertas tersebut dapat dilebur terlebih dahulu menjadi kertas bubur, kemudian dibuat berbagai kerajinan. Hasil daur ulang kertas banyak sekali ragamnya seperti kotak hiasan, sampul buku, bingkai photo, tempat pensil, dan lain sebagainya (Marliani, 2014)

2. Air Limbah (Dihasilkan dari kegiatan mandi dan mencuci)

Limbah cair domestic (*domestic wastewater*) yaitu limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, restoran, penginapan, mall dan lain-lain. Contoh : air bekas cucian pakaian atau peralatan makan, air bekas mandi, sisa makanan berwujud cair dan lain-lain. Air limbah harus dikelola untuk mengurangi pencemaran. Pengelolaan air limbah rumah tangga dapat dilakukan dengan membuat saluran air kotor dan bak peresapan dengan memperhatikan ketentuan sebagai berikut:

- a) Tidak mencemari sumber air minum yang ada di daerah sekitarnya baik air dipermukaan tanah maupun air di bawah permukaan tanah.
- b) Tidak mengotori permukaan tanah.
- c) Menghindari tersebarnya cacing tambang pada permukaan tanah.
- d) Mencegah berkembangbiaknya lalat dan serangga lain.
- e) Tidak menimbulkan bau yang mengganggu.
- f) Konstruksi agar dibuat secara sederhana dengan bahan yang mudah didapat dan murah.

g) Jarak minimal antara sumber air dengan bak resapan 10 m.

Pengelolaan limbah rumah tangga yang paling sederhana ialah pengelolaan dengan menggunakan pasir dan benda-benda terapung melalui bak penangkap pasir dan saringan. Benda yang melayang dapat dihilangkan oleh bak pengendap yang dibuat khusus untuk menghilangkan minyak dan lemak.⁹ Lumpur dari bak pengendap pertama dibuat stabil dalam bak pembusukan lumpur, di mana lumpur menjadi semakin pekat dan stabil, kemudian dikeringkan dan dibuang. Pengelolaan sekunder dibuat untuk menghilangkan zat organik melalui oksidasi dengan menggunakan saringan khusus. Pengelolaan secara tersier hanya untuk membersihkan saja. Cara pengelolaan yang digunakan tergantung keadaan setempat, seperti sinar matahari, suhu yang tinggi di daerah tropis yang dapat dimanfaatkan.

Pengolahan air limbah untuk melindungi lingkungan, ada tiga cara pengolahan limbah:

1) Pengenceran (*dilution*)

Air limbah diencerkan sampai konsentrasinya rendah, baru dibuang ke badan air dengan bertambahnya penduduk makin meningkat kegiatan manusia, maka jumlah limbah yang dibuang banyak.

2) Kolam oksidasi (*oxidation ponds*)

Pada prinsip pengolahannya dengan pemanfaatan sinar matahari, ganggang, bakteri dan oksigen dalam proses pembersihan alami.

3) Irigasi

Air limbah dialirkan kedalam parit terbuka, air akan masuk kedalam tanah melalui dinding parit, dapat juga digunakan sebagai pengairan sawah (Dahruji *et al*, 2017)

3. Kotoran yang dihasilkan manusia

Limbah ini meliputi tinja dan urine. Keseimbangan ekosistem tanah, air, dan udara dapat terganggu karena pencemaran ekosistem oleh berbagai jenis bahan pencemar biologis, kimiawi, maupun fisik yang terdapat pada tinja dan

limbah cair. Oleh karena itu, pembuangan tinja dan limbah cair yang aman dan saniter, akan mencegah pencemaran lingkungan. Jamban yang sehat adalah suatu cara pembuangan air kotor manusia agar air kotor tersebut tidak mengganggu kesehatan dan lingkungan. Kemudian dibuat bak penampung kotoran (septik tank) yang terdiri dari bak pengumpul dan bak peresapan serta dihubungkan dengan saluran pipa pralon.

Ruang closet (WC) dibuat tertutup, closet (WC) dengan lubang leher angsa dipasang, kemudian dibuat tangki kotoran dengan dinding kedap air. Untuk mengalirkan udara dari tangki keluar dipasang pula pralon berukuran kecil yang berbentuk huruf T. Kemudian dibuat sumur resapan yang didalamnya diisi kerikil, ijuk dan dinding peresapan berlubang-lubang. Pembuatannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Marliani, 2014)

DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmito, W., 2009. *Sistem Manajemen Lingkungan Rumah Sakit*. Jakarta: Rajawali Press.
- Alabama. 2001. *Excellence in Industrial Wastewater Treatment*. Water Environment Association.
- Ambarwati, R.D ST.MT., 2011, *Air bagi Kehidupan Manusia*, dalam [http://dsdap.bantenprov.go.id/upload/Advetorial/1.%20%20ARTIKEL%20AIR%20BERSIH%20\(RDA\)_EDITOR.pdf](http://dsdap.bantenprov.go.id/upload/Advetorial/1.%20%20ARTIKEL%20AIR%20BERSIH%20(RDA)_EDITOR.pdf) diakses tanggal 28 Februari 2018 pukul 20.27 WIB
- Arifin, M., 2008. Pengaruh Limbah Rumah Sakit terhadap Kesehatan. In *Skripsi*. Jakarta: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Ariwibowo. (1997). *Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia Nomor: 231/MPP/Kep/7/1997 Tentang Prosedur Impor Limbah*. Jakarta: MENPERINDAG.
- Asmarhany, C., 2014. Pengelolaan Limbah Medis Padat Di Rumah Sakit Umum Daerah Kelet Kabupaten Jepara. In *Skripsi*. Semarang: Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Semarang.
- Astuti, A. & Purnama, S.G., 2014. Kajian Pengelolaan Limbah Di Rumah Sakit Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). *Community Health*, 11(1), pp.12-20.
- Bachri, Moch. 1995. *Geologi Lingkungan*. CV. Aksara, Malang. 112 hal
- Barbara J. Finlayson-Pitts, J. N. P., 2000. *Chemistry of the upper and lower atmosphere: Theory, Experiments and Applications*. Canada: Academic Press.
- Basri, I. W. 2010. Pencemaran Udara Dalam Antisipasi Teknis Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan. *Jurnal SMARTek*, Vol. 8, No. 2, Mei 2010: 120 – 129
- Bottero, M, Comino, E., dan Riggio, V. 2011. Application of the AnalyticHierarchy Process and the AnalyticNetwork Process

- for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling & Software*. 26 (10): 1211-1224.
- CEFIC. 1999. IPPC BAT Reference Document. Waste Water/Waste Gas Treatment. Chemical Industry Contribution Paper on Waste Water/Waste Gas Management.
- Chandra, B., 2005. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit EGC.
- Dahab, Mohamed F. *Wastewater Reuse: International Regulations and Trends*. Department of Civil Engineering University of Nebraska-Lincoln, USA.
- Dahruji, et al (2017). Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Vol. 1 No. 1*, 36-44.
- Darmadi, 2008, *Infeksi Nosokomial Problematika dan Pencegahannya*, Jakarta: Salemba Medika.
- Depkes RI, 2002. *Pedoman Sanitasi Rumah Sakit di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal PPM & PPL dan Direktorat Jenderal Pelayanan Medik.
- Ditjen P2MPL, 2004, *Kepmenkes RI Nomor:1204/MENKES/SK/X/2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit*, Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia
- Fardiaz, S., 1992. *Polusi Air Dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fauziah, 2005. *Pengelolaan Aman Limbah Layanan Kesehatan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran.
- Firdaus, 2011, dalam Kumpulan Makalah Ekologi dan Lingkungan Hidup Mahasiswa Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan Angkatan 2010-2011, *Program Studi Teknik Ilmu Lingkungan*, Program Pascasarjana, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Fitria et al, A. (2015). Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri dan Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Vol. 10 No.2*, 246-254.
- Gleason, Karen K., Simon Karecki, and Rafael Reif (2007). *Climate Classroom; What's up with global warming?*, National Wildlife Federation.

- Hakim, Nurhajati dkk. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. UNILA: Lampung.
- Hanafiah, K., A. 2007. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Rajawali Pers : Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Harianti.2012. Pemanfaatan Limbah Padat Hasil Perikanan Menjadi Produk Yang Bernilai Tambah.*Jurnal Balik Diwa*. Vol. 03, No. 02. p. 39-46.
- Harmayani K. Diana dan Konsukartha I G. M. 2007.Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh.*Jurnal Permukiman Natah*. Vol. 5 No. 2.
- Harmayani, Kadek Diana Dan I G. M. Konsukartha, 2007, Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik Di Lingkungan Kumuh Studi Kasus Banjar Ubung Sari, Kelurahan Ubung, *Jurnal Permukiman Natah* Vol. 5 No. 2 Agustus 2007 : 62 - 108
- Heriamariaty, 2011, Upaya Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran air akibat Penambangan Emas di Sungai Kahayan, *Mimbar Hukum*, Vol 23, Nomor 3, 3 Oktober 2011, halaman 431- 645
- Imansyah, Muhammad Fadhil, 2012, Studi Umum Permasalahan Dan Solusi Das Citarum Serta Analisis Kebijakan Pemerintah, *Jurnal Sositologi* Edisi 25 Tahun 11, April 2012
- Indranada, Henry. 1994. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Bumi Aksara, Semarang.
- Kampa, M and Castanas, E. human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* 151 (2008) 362e367
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2014. *Pedoman Kriteria Teknologi Pengelolaan Limbah Medis Ramah Lingkungan*. Jakarta: Tim Kementerian Lingkungan Hidup.
- Khalil, N. dan Khan, M. (2009). A case of a municipal solid waste managementsystem for a medium-sized Indian city,Aligarh.*Management of Environmental Quality: An International Journal*. 20 (2): 121-141.

- Marliani, N. (2014). Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga (Sampah Anorganik) sebagai Bentuk Implementasi dari Pendidikan Lingkungan Hidup. *Jurnal Formatif Vol. 4 No. 2*, 124-132.
- Mawardi, M. 2011. *Asas Irigasi dan Konservasi Air*. Bursa Ilmu, Yogyakarta.
- Mc.Pherson, 1998, *Carbon Dioxide by Urban Forest*, *Journal Arboriculture* 24(4)
- Mini-guide to Cleaner Production. Ministry of Education and Training Hanoi University of Technologi. Institute for Environmental Science and Technology. Hanoi, Vietnam.
- Moertinah Sri.2010. Kajian Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi.*Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*.Vol. 1, No. 2. p. 104-114.
- Mustafa M dkk. 2012. *Dasar Dasar Ilmu Tanah*, Program Studi Agroteknologi Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Nasir.M dan Saputro.E.P. 2015.Manajemen Pengelolaan Limbah Industri. *BENEFIT Jurnal Managemen dan Bisnis*. Vol. 19, No. 2.p.143-149.
- Pasalli, Irfa, 2015, *Sikluk Hidrologi*, dalam https://www.academia.edu/9103906/II._SIKLUS_HIDROLOGI diakses tanggal 28 Februari 2018 pukul 20.56 WIB
- Pawitro, Udjiyanto.2016.*Pemanasan Global-Protokol Kyoto Dan Penerapan Kaidah "Arsitektur Ekologis"*.Jurnal Ilmiah KORPRI Kopertis Wilayah IV. Vol.1.No.1.pp.1-11
- Peraturan Menteri Kesehatan RI, 2010. *RI Nomor 340/MENKES/Per/11/2010 tentang Klasifikasi Rumah Sakit*. Jakarta: Menteri Kesehatan RI.
- Prawiro, Ruslan H. 1988. *Ekologi Pencemaran Lingkungan*, Satya Wacana, Semarang.
- Prodjosantoso, R. T., 2011. *Kimia Lingkungan (Teori, Eksperimen, dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Pruss, A., 2005. *Pengelolaan Aman Limbah Layanan Kesehatan*. Jakarta: EGC.

- Puspitasari, Dinarjati Eka, 2009, Dampak Pencemaran Air terhadap Kesehatan Lingkungan dalam Perspektif Hukum Lingkungan (Studi Kasus Sungai Code di Kelurahan Wirogunan Kecamatan Mergangsang dan Kelurahan Prawirodirjan Kecamatan Gondomanan, Yogyakarta), *Mimbar Hukum*, Vol 21, Nomor 1, Februari 2009, halaman 23 -34
- Rahardjo, P. N.2008. Kajian Aspek Kebijakan dan Regulasi dalam Masalah Pengelolaan Limbah cair Industri Rumah Tangga.*JAI*.Vol.4, No.2
- Ramlan, Mohammad.2002.*Pemanasan Global (Global Warming)*. Jurnal Teknologi Lingkungan.Vol.3.No.1.PP30-32
- Romayanto, W. S. (2006). Domestic wastewater treatment with aeration and addition of *Pseudomonas putida*. *Bioteknologi*, 3(2), 42-49.
- Sastrawijaya, A.Tresna, 2000, *Pencemaran Lingkungan*, PT. Rineka Cipta, Jakarta
- Setiawan, Iwan, 2001, *Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran dalam*
http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/197106041999031-IWAN_SETIAWAN/Pencegahan_dan_penanggulangan_pencemaran.pdf.
- Setiyono dan Yudo S.2008.Dampak Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Industri Pengolahan Ikan di Muncar (Studi Kasus Kawasan Industri Pengolahan Ikan di Muncar – Banyuwangi). *JAI*. Vol..4,, No..1
- Shahzad, Umair ,Riphah.2015.*Global Warming: Causes, Effect And Solutions*. Durrresamin Journal.ISSN.2204-9827.ISSUE.4
- Siregar, J.C., 2004. *Farmasi Rumah Sakit Teori dan Penerapan*. Jakarta: Penerbit EGC.
- Soekarto. S. T. 1985. *Penelitian Organoleptik Untuk Industri Pangan dan Hasil Pertanian*. Bhatara Karya Aksara, Jakarta. 121 hal
- Suan, E.M.M., Romeo, P. & Sahdan, M., 2013. Description Of Behavioral Of Medical Officer In Solid Waste Management At

- General Hospital Of Kefamenanu, Distric Of Timor Tengah Utara, 2012. MKM, 07(02), pp.144-57.
- Sudaryono, 2000, Tingkat Pencemaran Air Permukaan Di Kodya Yogyakarta, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 1, No.3, Desember 2000 ; 247-252
- Sugiarti. 2009. Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Chemica Vo/. 10 Nomor 1 Juni 2009*, 50-58
- Sunarsih. (2014). Konsep Pengolahan Limbah Rumah Tangga dalam Upaya Pencegahan Pencemaran. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 5(3), 162-167.
- Supriyanto. (2000). Pengelolaan Air Limbah yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(1), 17-65.
- Supriyo Edi. 2007. Sistem Pengolahan Limbah Gas Cianida Pada Industri Pestisida Studi Kasus Pt. Alfa Abadi Piistisida _ Jawa Barat. *METANA (Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna)*. Vol. 05, No.02, p. 29-35.
- Suwedi.N.2005.*Upaya Pencegahan Dan Penanggulangan Dampak Pemanasan Global*.*Jurnal Teknologi Lingkungan*.P3TL-BPPT.6.(2).pp.397-401
- The North American Mosaic: *An Overview of Key Environmental Issues*. Industrial Pollution and Waste.
- Tongasa, Ricko, 2016, *Konservasi Tanah Dan Air "Siklus Hidrologi"*, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo.
- Tsakona, M., Anagnostopoulou, E. & Gidarakos, E., 2006. Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study. *Journal of Waste Management*, 27(1), pp.12-920.
- Undang-Undang RI No. 5 Tahun 1984. Tentang Perindustrian.
- Utina, Ramli.2008.*Pemanasan Global: Dampak dan Upaya Meminimalisirnya*. FMIPA.Universitas Negeri Gorontalo
- Venkataramanan,M. & Smitha.2011.*Causes And Effects Of Global Warming*. *Indian Journal of Science and Technology*.Vol.4.issue 3 (March 2011) ISSN: 0974-6846.pp:226-229.

- Wagner, T.P. 1990. *Hazardous waste identification and classification manual*. Van Nostrand Reinhold.
- Warlina, Lina, 2004, *Pencemaran Air: Sumber, Dampak Dan Penanggulangannya*, Makalah pribadi Pengantar ke Falsafah Sains (PPS702) Sekolah Pasca Sarjana / S3 Institut Pertanian Bogor June 2004
- Wentz, C.A. 1989. *Hazardous waste management*. McGraw-Hill Book.
- WHO, 2005, *World Health Organization, Policy Paper: Safe Health Care Waste Manajement*.
- Widayatno Tri dan Sriyatni. 2008. Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Dengan Menggunakan Metode Elektroflokulasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Kimia dan Tekstil*. ISBN : 978-979-3980-15-7.
- Widiarti. (2012). Pengelolaan Sampah Berbasis "Zero Waste" Skala Rumah Tangga Secara Mandiri. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 4(2), 101-113.
- Wisaksono, S., 2001. *Karakteristik Limbah Rumah sakit dan Pengaruhnya terhadap Kesehatan dan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Pengawasan Narkoba, Direktorat Jenderal pengawasan Obat dan Makanan, Departemen Kesehatan RI.
- Wright, J., 2003. *Environmental chemistry*. London: Routledge.
- Yudhoyono. (2012). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.
- Yudianto, Suroso Adi, 2010, Air dalam kehidupan dalam http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._BIOLOGI/195305221980021-SUROSO_ADI_YUDIANTO/Buku_Ilmiyah_Populer/Buku_I_Air_dlm_Kehidupan.pdf diakses tanggal 28 Februari 2018 pukul 20.18 WIB
- Yunita, Isti, M. Sc, 2013, *Mengenal Lebih Dekat Sampah Anorganik Sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup*, PPM, Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Unieversitas Negeri Yogyakarta.

MNC Publishing