

6. KIMIA LINGKUNGAN

1. Pencemaran Lingkungan

Perkembangan teknologi dan industri dapat berdampak positif atau negatif bagi kehidupan manusia. Dampak positif (menguntungkan), yaitu dampak yang diharapkan dalam rangka meningkatkan kualitas dan kenyamanan hidup. Dampak negatif (merugikan), yaitu dampak yang dapat menurunkan kualitas/kenyamanan hidup. Dampak ini tidak diharapkan karena menimbulkan masalah yang harus diatasi, yaitu masalah kerusakan atau pencemaran lingkungan.

a. Pengertian Pencemaran Lingkungan

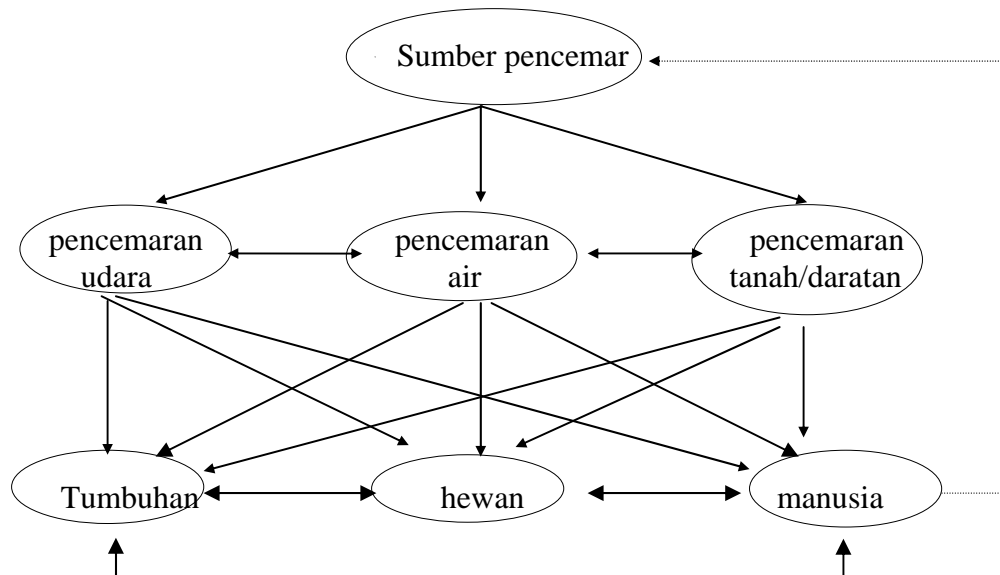
Pencemaran adalah peristiwa penyebaran bahan kimia dengan kadar tertentu yang dapat merubah keadaan keseimbangan pada daur materi dalam lingkungan (keseimbangan lingkungan) baik keadaan struktur maupun fungsinya sehingga dapat mengganggu kesejahteraan manusia. Pencemaran lingkungan meliputi pencemaran udara, pencemaran air, dan pencemaran tanah (daratan).

Lingkungan dapat tercemar karena:

- 1) Kecepatan hilangnya senyawa tertentu dari lingkungan lebih besar daripada kecepatan masuknya senyawa pengganti.
- 2) Rusaknya atau putusya alur siklus biokimia.
- 3) Kecepatan masuknya senyawa ke dalam lingkungan lebih besar daripada kecepatan pengambilannya.
- 4) Masuknya senyawa yang tidak terdegradasi ke dalam lingkungan.

b. Daur Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan dapat disebabkan karena ulah manusia dan pada akhirnya dampaknya juga akan dirasakan oleh manusia, baik secara langsung maupun tak langsung.



Gambar diagram daur pencemaran lingkungan.

2. Pencemaran Udara

Udara akan tercemar jika ada bahan-bahan atau zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan atau komposisi udara dari keadaan normalnya.

a. Penyebab Pencemaran Udara

- 1) Faktor internal (secara alamiah), misalnya:
 - debu beterbangan oleh tiupan angin
 - abu atau debu dan gas-gas vulkanik dari letusan gunung berapi
 - proses pembusukan sampah
- 2) Faktor eksternal (karena ulah manusia), misalnya:
 - pembakaran bahan bakar fosil
 - debu atau serbuk dari kegiatan industri
 - pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara

b. Sumber Pencemar Udara

- transportasi
- industri
- pembuangan sampah
- pembakaran stasioner, dan lain-lain

c. Komponen Pencemar Udara

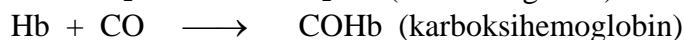
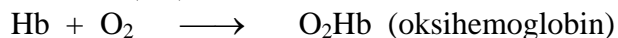
- Karbon monoksida (CO)
- Oksida nitrogen (NO_x)
- Oksida belerang (SO_x)
- Hidrokarbon
- Partikel (*particulate*), dan lain-lain

d. Dampak Pencemaran Udara

1). Dampak Pencemaran oleh Karbon Monoksida (CO)

Gas CO tidak berbau dan tidak berwarna. Pada keadaan normal konsentrasinya di udara $\pm 0,1$ ppm, dan di kota dengan lalu lintas padat $\pm 10 - 15$ ppm. Dampak pencemaran oleh gas CO antara lain:

- Bagi manusia dampak CO dapat menyebabkan gangguan kesehatan sampai kematian, karena CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan hemoglobin dalam darah (Hb) :



COHb 140 kali lebih stabil daripada O₂Hb.

Kadar CO :	Waktu kontak :	Dampaknya bagi tubuh :
≤ 100 ppm	sementara	dianggap aman
± 30 ppm	8 jam	menimbulkan pusing dan mual
± 1000 ppm	1 jam	pusing dan kulit berubah kemerah-merahan
± 1300 ppm	1 jam	kulit jadi merah tua dan rasa pusing yang hebat
> 1300 ppm	1 jam	lebih hebat sampai kematian

Tanda-tanda keracunan gas CO adalah: pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat lagi adalah: kemampuan gerak tubuh menurun, gangguan pada sistem kardiovaskular, serangan jantung, sampai dengan kematian.

- Bagi tumbuhan, kadar CO 100 ppm pengaruhnya hampir tidak ada khususnya tumbuhan tingkat tinggi. Kadar CO 200 ppm dengan waktu kontak 24 jam dapat mempengaruhi kemampuan fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas terutama yang terdapat pada akar tumbuhan.

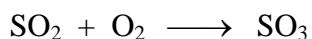
2). Dampak Pencemaran Oleh Oksida Nitrogen (NO_x)

Gas NO tidak berbau dan tidak berwarna. Gas NO₂ berbau menyengat, berwarna coklat kemerahan. Sifat racun (toksisitas) NO₂ empat kalinya NO. Organ yang paling peka paru-paru, jika terkena NO₂ akan membengkak sehingga sulit bernapas sampai kematian. Konsentrasi NO yang tinggi mengakibatkan kejang-kejang, bila keracunan berlanjut mengakibatkan kelumpuhan. NO akan lebih berbahaya jika teroksidasi menjadi NO₂.

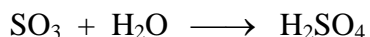
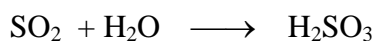
Oksida nitrogen bagi tumbuhan menyebabkan bintik-bintik pada permukaan daun, bila konsentrasinya tinggi mengakibatkan nekrosis (kerusakan jaringan daun), sehingga fotosintesis terganggu. Konsentrasi NO 10 ppm dapat menurunkan kemampuan fotosintesis 60 – 70 %. Di udara oksida nitrogen dapat menimbulkan PAN (*Peroxy Acetyl Nitrates*) yang dapat menyebabkan iritasi mata (pedih dan berair). PAN bersama senyawa yang lain akan menimbulkan kabut foto kimia (*Photo Chemistry Smog*).

3). Dampak Pencemaran oleh Oksida Belerang (SO_x)

SO_x sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama batubara. Gas buang lebih banyak mengandung SO₂ dibanding SO₃. Dengan oksigen dari udara SO₂ menghasilkan SO₃:



Gas SO₂ berbau tajam dan tak mudah terbakar. Gas SO₃ sangat reaktif. Dengan uap air dari udara:



Jika ikut terkondensasi di udara dan jatuh bersama air hujan menyebabkan hujan asam.

- Bagi tumbuhan kadar SO_x ± 0,5 ppm dapat menyebabkan timbulnya bintik-bintik pada daun. Jika paparan lama daun menjadi berguguran.
- Bagi manusia SO_x menimbulkan gangguan pernapasan. Jika SO_x berubah menjadi asam akan menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran napas yang lain sampai ke paru-paru. SO₂ dapat menimbulkan iritasi tenggorokan tergantung daya tahan masing-masing (ada yang 1 - 2 ppm, atau 6 ppm). SO₂ berbahaya bagi anak-anak, orang tua, dan orang yang menderita kardiovaskuler. Otot saluran pernapasan akan mengalami kejang (spasme). Akan lebih berat lagi jika konsentrasi SO₂ tinggi dan suhu udara rendah. Pada paparan lama akan terjadi peradangan yang hebat pada selaput lendir yang diikuti paralysis cilia (kelumpuhan sistem pernapasan), kerusakan lapisan ephitelium, akhirnya kematian. Pada konsentrasi 6 - 12 ppm dengan paparan pendek yang berulang-ulang dapat menyebabkan hiperplasia dan metaplasia sel-sel epitel yang akhirnya menjadi kanker.

- Pada benda-benda, SO_2 bersifat korosif. Cat dan bangunan gedung warnanya menjadi kusam kehitaman karena PbO pada cat bereaksi dengan SO_x menghasilkan PbS . Jembatan menjadi rapuh karena mempercepat pengkaratan.

4). Dampak Pencemaran oleh Hidrokarbon

Pembakaran hidrokarbon menghasilkan panas. Panas yang tinggi menimbulkan peristiwa pemecahan (*Cracking*) menghasilkan rantai hidrokarbon pendek atau partikel karbon. Gas hidrokarbon dapat bercampur dengan gas buangan lainnya. Cairan hidrokarbon membentuk kabut minyak (*droplet*). Padatan hidrokarbon akan membentuk asap pekat dan menggumpal menjadi debu/partikel. Hidrokarbon bereaksi dengan NO_2 dan O_2 menghasilkan PAN (*Peroxy Acetyl Nitrates*). Campuran PAN dengan gas CO dan O_3 disebut kabut foto kimia (*Photo Chemistry Smog*) yang dapat merusak tanaman. Daun menjadi pucat karena selnya mati. Jika hidrokarbon bercampur bahan lain toksitasnya akan meningkat.

Berikut ini adalah toksitas benzena dan toluena:

Konsentrasi Pengaruhnya terhadap tubuh:

Benzena (ppm):

100	iritasi terhadap mukosa
3 000	lemas (0,5 - 1 jam)
7 500	paralysys (0,5 -1 jam)
20 000	kematian (5 - 10 menit)

Toluena (ppm):

200	pusing, lemah, pandangan kabur setelah 8 jam.
600	gangguan syaraf, dapat diikuti kematian jika waktu kontak lama.

5). Dampak Pencemaran oleh Partikel

Partikel (debu) yang masuk/mengendap dalam paru-paru dapat menimbulkan berbagai macam penyakit saluran pernapasan (*pnevmokoniosis*) antara lain:

- Penyakit *silikosis*
Disebabkan oleh pencemaran debu silika bebas (SiO_2). Dapat terjadi pada daerah pabrik besi dan baja, keramik, pengecoran beton, bengkel yang mengerjakan besi (mengikir/menggerinda), penambangan bijih besi, timah putih dan batubara. Bila sudah parah penyakit ini dapat diikuti hipertropi jantung sebelah kanan yang mengakibatkan kegagalan kerja jantung.
- Penyakit *asbestosis*
Disebabkan oleh debu/serat asbes (campuran berbagai silikat terutama magnesium silikat). Dapat terjadi di daerah pabrik/industri yang menggunakan asbes, pabrik pemintalan serat asbes, pabrik yang beratap asbes, dan lain-lain.
- Penyakit *Bisinosi*
Disebabkan oleh debu/serat kapas. Dapat terjadi pada daerah pabrik pemintalan kapas/tekstil, pembuatan kasur atau jok kursi. Penyakit ini dapat diikuti bronkitis kronis.
- Penyakit *antrakosis*
Disebabkan oleh debu batubara. Dapat terjadi pada daerah tambang batubara, penggunaan batubara pada tanur besi, lokomotif (*stoker*), kapal laut bertenaga batubara, pekerja boiler pada PLTU bertenaga batubara.

- Penyakit *Beriliosis*
Disebabkan oleh debu logam berilium yang dapat berupa logam murni, oksida, sulfat, atau halogenida. Dapat terjadi pada daerah industri logam campur berilium-tembaga, pabrik fluoresen, pabrik pembuat tabung radio, pengolahan bahan penunjang industri nuklir.

6). Dampak Pencemaran yang Lain

- Pemakaian insektisida dapat menyebabkan *cocarcinogenik*.
- Efek rumah kaca dapat merusakkan lapisan ozon, sehingga sinar ultra violet tidak tersaring. Dapat menyebabkan kanker kulit, suhu bumi naik sehingga tidak nyaman, es kutub mencair sehingga permukaan laut naik.

3. Pencemaran Air

Jika terjadi penyimpangan dari keadaan normalnya dapat dikatakan air sudah tercemar. Pada keadaan normal:

- Air hujan mengandung SO₄, Cl, NH₃, CO₂, N₂, C, O₂, debu.
- Air mata air mengandung mineral Na, Mg, Ca, Fe, O₂.
- Air mengandung bakteri/mikroorganisme lain.
- Air murni tanpa mineral tidak enak/segar.

Dalam industri air digunakan untuk: air proses, air pendingin, air utilitas dan sanitasi, air ketel uap penggerak turbin, dan lain-lain. Air yang telah digunakan untuk industri tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan karena dapat mencemari lingkungan, maka terlebih dahulu harus diolah agar sama dengan kualitas air lingkungan. Proses daur ulang air limbah (*Water Treatment Recycle Process*) adalah salah satu syarat yang harus dimiliki oleh industri yang berwawasan lingkungan.

a. Pengamatan indikator dan pencemaran air:

- Indikator secara fisis: kejernihan/kekeruhan, perubahan suhu, rasa, dan warna.
- Indikator secara kimiawi: zat kimia terlarut, radioaktivitas, perubahan pH.
- Indikator secara biologis: berdasar mikroorganisme yang ada (ada tidaknya bakteri patogen)

b. Komponen Pencemar air

Komponen pencemar air dapat berupa bahan buangan padat, organik, anorganik, olahan bahan makanan, cairan berminyak, zat kimia, dan panas.

1) Bahan buangan padat/butiran.

- Pelarutan bahan buangan padat menyebabkan perubahan warna. Larutan pekat dan berwarna gelap mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, fotosintesis dalam air terganggu sehingga jumlah oksigen terlarut berkurang dan akan berpengaruh terhadap kehidupan organisme dalam air.
- Pengendapan bahan buangan padat akan menutupi permukaan dasar air, menghalangi fotosintesis, menutupi sumber makanan dan telur ikan di dasar air, sehingga jumlah ikan berkurang.

- Pembentukan koloidal yang melayang dalam air menyebabkan keruh dan menghalangi sinar matahari, fotosintesis terganggu dan jumlah oksigen terlarut berkurang sehingga mempengaruhi kehidupan dalam air.
- 2) Bahan buangan organik.
Berupa limbah yang dapat membusuk/terdegradasi oleh mikroorganisme. Menyebabkan jumlah mikroorganisme bertambah dan tumbuh bakteri patogen yang merugikan. Limbah ini dapat diproses menjadi pupuk/kompos.
 - 3) Bahan buangan anorganik.
Berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme sehingga dapat meningkatkan jumlah ion logam dalam air. Limbah ini berasal dari industri yang melibatkan unsur logam Pb, As, Cd, Hg, Cr, Ni, Ca, Mg, Co, misalnya pada industri kimia, elektronika, elektroplating.
Ion logam Ca dan Mg menyebabkan air sadah yang mengakibatkan korosi pada alat besi, menimbulkan kerak/endapan pada peralatan proses seperti tangki/bejana air, ketel uap, dan pipa penyalur.
Ion logam Pb, As, Hg bersifat racun sehingga air tidak dapat untuk minum.
 - 4) Bahan buangan olahan bahan makanan (termasuk bahan organik).
Jika bahan mengandung protein dan gugus amin akan terdegradasi menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk sehingga air mengandung mikroorganisme dan bakteri patogen.
 - 5) Bahan buangan cairan berminyak.
Tidak larut dalam air, mengapung dan menutupi permukaan air. Jika mengandung senyawa volatil akan menguap. Terdegradasi oleh mikroorganisme dalam waktu lama. Bahan ini mengganggu karena:
 - Menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air.
 - Menghalangi sinar matahari sehingga fotosintesis terganggu.
 - Ikan di permukaan dan burung air terganggu, bulu burung lengket dan tak bisa mengembang.
 - Air tak dapat dikonsumsi karena mengandung zat beracun seperti benzena, dan senyawa toluena.
 - 6) Bahan buangan zat kimia, misalnya:
 - a) Sabun, deterjen, shampoo, dan bahan pembersih lainnya. Bahan ini mengganggu lingkungan karena:
 - Menaikkan pH air. Jika memakai bahan non-positif menaikkan pH menjadi 10,5 - 11.
 - Bahan antiseptik yang ditambahkan akan dapat membunuh/mengganggu mikroorganisme.
 - Sebagian jenis sabun/deterjen tak dapat terdegradasi.
 - b) Bahan pemberantas hama/insektisida. Bersifat racun dan tak dapat/sulit terdegradasi (beberapa minggu sampai beberapa tahun). Insektisida sering dicampur dengan senyawa minyak bumi sehingga permukaan air akan tertutupi minyak.
 - c) Zat pewarna. Bersifat racun dan *cocarcinogenik* (merangsang/penyebab tumbuhnya kanker) dan dapat mempengaruhi kandungan oksigen dan pH dalam air. Zat warna mengandung senyawa kimia berbahaya *chromogen* dan *auxochrome*.
 - d) Larutan penyamak kulit. Mengandung ion logam Cr, tidak dapat untuk air minum. Sebagai pengganti Cr untuk bahan penyamak dipakai enzim. Bersama lemak dan sisa kulit, enzim akan didegradasi menghasilkan senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk (hasil

peruraian protein dan senyawa amin). Populasi mikroorganisme akan bertambah dan memungkinkan berkembangbiaknya bakteri patogen yang berbahaya.

- e) Zat radioaktif. Penggunaan radiasi zat radioaktif di berbagai bidang (pertanian, peternakan, kedokteran, hidrologi, farmasi, pertambangan, industri) akan terbawa air ke lingkungan. Akibat radiasi dapat merusak sel tubuh dan genetik.

c. Dampak/kerugian pencemaran air:

- 1) Air tidak bermanfaat lagi untuk keperluan rumah tangga, industri maupun pertanian.
- 2) Air menjadi penyebab timbulnya penyakit. Air tercemar oleh limbah organik terutama dari bahan makanan merupakan tempat subur berkembangbiaknya mikroorganisme. Mikroorganisme merugikan yang dapat menyebabkan penyakit menular melalui air antara lain virus diare, hepatitis A, bakteri, metazoa dan protozoa. Penyakit tidak menular/keracunan ditimbulkan oleh air yang tercemar oleh senyawa anorganik/ion logam.

- Keracunan ion logam Cd.

Ion Cd dapat berasal dari industri yang memakai logam Cd dalam proses produksinya misalnya industri elektroplating, pipa plastik PVC (Cd sebagai stabilisator), hasil samping penambangan logam (timah hitam, seng), industri obat-obatan (sudah tak banyak dipakai). Keracunan ion Cd dapat mempengaruhi otot polos, pembuluh darah (mengakibatkan tekanan darah tinggi dan gagal jantung), dan merusak ginjal. Kasus keracunan ion Cd pernah menimpa penduduk Toyama, Jepang. Penduduk banyak yang sakit pinggang bertahun-tahun semakin parah, pelunakan tulang punggung dan menjadi rapuh, dan kematian karena gagal ginjal. Penyebabnya beras yang dimakan mengandung Cd \pm 1,6 ppm, karena tanaman padi diairi dengan air tercemar ion Cd dari limbah industri seng dan timah hitam.

- Keracunan ion logam Co.

Pada industri Co dipakai sebagai stabilisator, pada pabrik bir dulu dipakai untuk menstabilkan busa bir agar bagus. Untuk proses pembentukan butir darah merah, tubuh memerlukan Co dalam jumlah sedikit melalui vitamin B12 yang dimakan. Bila memakan makanan yang mengandung Co 150 ppm akan merusak kelenjar gondok (kekurangan kelenjar gondok). Jika keracunan Co sel darah merah akan berubah, tekanan darah tinggi, pergelangan kaki membengkak (*oedema*), gagal jantung terutama pada anak yang baru tumbuh. Kasus keracunan Co pernah terjadi di Nebraska dan Ohama. Penduduk mengalami kelainan pada otot jantung primer karena gemar minum bir yang proses pembuatannya menggunakan Co. Di Kanada penduduk menderita gagal jantung disertai gejala sesak napas, batuk-batuk, sakit disekitar jantung dan lambung, dan kondisi badan lemah.

- Keracunan ion logam Hg.

Industri yang menggunakan Hg misalnya untuk proses produksi pada pabrik plastik, campuran bahan antiseptik pada sabun dan kosmetik, amalgam pada penambal gigi, dan fungisida. Gejala keracunan ion Hg adalah: sakit kepala, sukar menelan, penglihatan jadi kabur, daya dengar menurun, bagian kaki dan tangan terasa tebal, mulut terasa tersumbat logam, gusi membengkak disertai diare, kondisi tubuh melemah dan kematian, ibu mengandung melahirkan bayi cacat. Kasus keracunan Hg pernah terjadi di Minamata, penduduk banyak yang menjadi cacat, meninggal, dan bayi lahir cacat. Penyebabnya ikan laut yang dimakan mengandung Hg sekitar 27 - 102 ppm,

karena tercemari limbah pabrik plastik. Kasus lain di Niigata, banyak yang cacat dan meninggal karena mengonsumsi ikan yang mengandung Hg sekitar 5 - 20 ppm.

- Keracunan insektisida.
Gejalanya kepala pusing, mual, tremor, kerusakan organ seperti hati dan ginjal. Akumulasi sedikit demi sedikit menyebabkan penyakit tertunda (*delayed effect*) dalam bentuk kanker kulit, paru-paru, dan hati, karena insektisida bersifat *cocarcinogenic*.

4. Pencemaran Tanah/Daratan

Tanah/daratan dapat mengalami pencemaran jika ada bahan asing baik bersifat organik maupun anorganik yang berada di permukaan tanah yang menyebabkan tanah menjadi rusak dan tidak dapat memberikan daya dukung bagi kehidupan manusia, baik untuk pertanian, peternakan, kehutanan, maupun untuk pemukiman.

a. Komposisi tanah

Komposisi tanah terdiri dari udara 25 %, air 25 %, bahan organik 5 %, dan bahan mineral 45 %. Bahan organik dalam tanah (seperti karbohidrat, protein dan lemak) merupakan persediaan makanan bagi mikroorganisme dan tumbuhan. Senyawa organik yang kompleks tak dapat secara langsung dimanfaatkan tumbuhan. Senyawa ini dipecahkan oleh organisme dalam tanah (antara lain serangga, cacing tanah, nematoda, sikaki seribu, algae, dan mikroorganisme seperti fungi dan bakteri) menjadi bentuk yang lebih sederhana. Air akan melarutkan bentuk-bentuk sederhana itu dan membawanya sampai ke tumbuhan melalui akar. Unsur/nutrisi yang diperlukan tumbuhan meliputi makronutrisi (yaitu 9 unsur yang diperlukan dalam jumlah besar meliputi C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S) dan mikronutrisi (unsur yang lain). Unsur C, H, dan O digunakan untuk mensintesis karbohidrat, lemak, protein, lilin, selulosa, dan senyawa kompleks lainnya. Unsur N, P, dan S untuk membentuk molekul protein. Unsur lain yang jumlahnya tidak begitu banyak berperan dalam metabolisme pada tumbuhan.

b. Penyebab Pencemaran Tanah

- Faktor internal, yaitu peristiwa alam seperti: letusan gunung berapi yang memuntahkan debu, pasir, batu, dan bahan vulkanik lain yang menutupi dan merusak daratan/permukaan tanah.
- Faktor eksternal, yaitu karena ulah dan aktivitas manusia. Limbah yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia disebut *anthropogenic pollutants*.

c. Komponen Pencemar Tanah

Meliputi kertas 4 %, limbah bahan makanan 21 %, gelas 12 %, besi 10 %, plastik 5 %, kayu 5 %, karet dan kulit 3 %, kain/serat tekstil 2 %, aluminium dan logam lain 1 %. Perbandingan bahan organik dan anorganik 70 % : 30 %. Bahan organik akan terdegradasi oleh mikroorganisme, bahan anorganik tidak/susah terdegradasi. Bahan anorganik berbahaya misalnya bahan kimia beracun yang dibuang bersama limbah industri, limbah pertambangan seperti logam berat dan logam radioaktif. Bila air membawa limbah mengalir ke sungai, danau atau sawah maka tanah akan teraliri, sehingga akan terkontaminasi bahan-bahan kimia. Tanah menjadi jelek dan tumbuhan atau binatang air akan menderita. Bahan-bahan itu akan terkontaminasi dalam tumbuhan dan hewan, dan akhirnya akan sampai pada manusia.

d. Dampak Pencemaran Tanah

- Dampak langsung, seperti bau, merusak pandangan, kotor dan kumuh.
- Dampak tak langsung, seperti menjadi tempat berkembangnya nyamuk, lalat, tikus, bakteri, dan lain-lain, sehingga menjadi perantara atau penyebab penyakit pest, kaki gajah (*filiariasis*), malaria, demam berdarah, dan lain-lain.

5. Usaha Penanggulangan Dampak Pencemaran Lingkungan

Usaha untuk menanggulangi dampak pencemaran lingkungan dapat dilakukan secara teknis maupun secara nonteknis.

a. Secara teknis

Bila berdasar kegiatan AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) dapat diduga mungkin timbul pencemaran lingkungan, maka dipikirkan penanggulangan yang mengutamakan keselamatan lingkungan, teknologinya telah dikuasai dengan baik, dan secara teknis dan ekonomis dapat dipertanggungjawabkan. Penanggulangan secara teknis ini misalnya:

- Mengubah proses.
- Mengganti sumber energi.
- Mengelola limbah.
- Menambah alat bantu.

Misalnya untuk menaikkan angka oktana pada bensin dengan ditambahkan zat aditif anti ketukan (*anti knocking compound*) dengan *tetra ethyl lead* (TEL), $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$. Hasil pembakarannya mengandung Pb, maka ditambahkan zat aditif lain, yaitu 25 % *1,2-dibromoetana*, $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ dan 10 % *1,2-dikloroetana*, $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ dan 65 % TEL. Campuran ini disebut *ethyl fluid* yang menyebabkan Pb diubah menjadi PbBr_2 yang mudah menguap sehingga mudah keluar dari silinder mesin bercampur gas buang. Agar tidak mengandung ion Pb yang bersifat racun, maka untuk menaikkan angka oktana dipakai benzena dan alkohol. Campuran 90 % bensin dan 10 % alkohol disebut gasohol.

b. Secara nonteknis

Dengan menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan industri dan teknologi sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pencemaran lingkungan. Peraturan perundangan ini hendaknya dapat memberikan gambaran secara jelas tentang kegiatan industri dan teknologi yang akan dilaksanakan di suatu tempat, yang meliputi:

- Penyajian informasi lingkungan (PIL).
- Analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL).
- Perencanaan kawasan kegiatan industri dan teknologi.
- Pengaturan dan pengawasan kegiatan.
- Penanaman perilaku disiplin.