



KIMIA INDUSTRI JILID 3

untuk SMK

Suparni Setyowati R., dkk.



JILID 3

Suparni Setyowati Rahayu, dkk.

Kimia Industri

untuk
Sekolah
Menengah
Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional



Suparni Setyowati Rahayu
Sari Purnavita

KIMIA INDUSTRI

SMK

JILID 3



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

KIMIA INDUSTRI

Untuk SMK

JILID 3

Penulis : Suparni Setyowati Rahayu
Sari Purnavita

Editor : Setia Budi Sasongko, DEA

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6x 25 cm

RAH RAHAYU, Suparni Setyowati
k Kimia Industri untuk SMK Jilid 3 /oleh Suparni Setyowati
Rahayu, Sari Purnavita ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xxii, 211 hlm
Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.
Glosarium : LAMPIRAN B.
ISBN : 978-602-8320-41-2
ISBN : 978-602-8320-44-3

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, taufik dan hidayahNya, maka tersusunlah buku ini dengan judul “KIMIA INDUSTRI”

Tujuan disusunnya buku ini adalah untuk memenuhi kebutuhan program pendidikan dan pengajaran Kimia Industri yang disesuaikan dengan perkembangan teknologi dan industri.

Dalam kaitannya dengan upaya untuk hal tersebut di atas, maka penulis berpedoman pada kurikulum tahun 2004 dan disesuaikan dengan kaidah-kaidah ilmu pengetahuan dan teknologi yang diperlukan dalam dunia industri, sehingga isi dan materi bersifat tekstual dan kontekstual. Materi yang disajikan menyangkut juga indikator-indikator yang mampu mendorong siswa dalam aspek-aspek kognitif, afektif dan psikomotorik yang terdiri atas Pengenalan Kimia Industri, Bahan Baku Untuk produk Industri, Teknologi Proses, Instrumentasi dan Pengukuran, Utilitas Pabrik, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) serta limbah.

Keseluruhan materi diharapkan mampu mendukung kompetensi lulusan SMK Kimia Industri sesuai dengan kebutuhan pasar kerja industri dan jika dimungkinkan mampu kerja mandiri.

Manfaat yang dapat diperoleh dari buku ini dalam proses pembelajaran adalah bahwa guru akan bertambah sumber belajarnya yang lebih aplikatif terutama ilmu terapan, sehingga guru akan bertambah wawasannya terutama dalam bidang kimia industri. Sedangkan bagi siswa akan bertambah buku pegangannya untuk lebih mudah belajar kimia industri, karena buku ini penyusunannya baik dalam sistematika dan materinya disesuaikan dengan tingkat kemampuan siswa dalam proses pembelajaran.

Penulis dalam menyusun buku ini sudah berupaya secara maksimal dan berupaya memberikan yang terbaik, namun masih disadari adanya kekurangan-kekurangan, sehingga diharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak guna menyempurnakan keberadaan buku ini.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan buku ini kami sangat berterima kasih, dan semoga menjadi amal jariyah. Mudah-mudahan buku ini dapat mendorong generasi muda Indonesia lebih maju dalam berkarya dalam era globalisasi dan teknologi.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
SINOPSIS	xi
DESKRIPSI KONSEP PENULISAN	xiii
PETA KOMPETENSI	xix

JILID 1

BAB I PENGENALAN KIMIA INDUSTRI	1
1.1. PENDAHULUAN	1
1.2. DEFINISI KIMIA INDUSTRI.....	1
1.3. SISTEM MANAJEMEN DALAM SUATU INDUSTRI	7
1.4. PENGELOLAAN LINGKUNGAN KERJA.....	17
RANGKUMAN	21
CONTOH SOAL	23
LATIHAN SOAL	25
BAB II BAHAN BAKU DAN PRODUK INDUSTRI	27
2.1. PENANGANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG.....	28
2.2. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG.....	29
2.3. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG YANG TERSISA	30
2.4. MENEMUKAN PERMASALAHAN DAN PELUANG PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN BAHAN PENUNJANG.....	30
2.5. LOGAM.....	33
2.6. BAHAN NON METAL	104
RANGKUMAN.....	145
CONTOH SOAL.....	147
LATIHAN SOAL	148

BAB III INSTRUMENTASI DAN PENGUKURAN.....	149
3.1. DEFINISI.....	149
3.2. STANDARD DAN SATUAN.....	150
3.3. ANGKA PENTING DAN GALAT	153
3.4. KLASIFIKASI ALAT UKUR.....	155
3.5. PENCATATAN SKALA UKUR	167
3.6. KELAINAN SKALA UKUR	168
3.7. KLASIFIKASI ALAT UKUR	171
3.8. KLASIFIKASI INSTRUMENTASI	196
3.9. ALAT KENDALI KETINGGIAN	197
RANGKUMAN.....	201
CONTOH SOAL.....	203
LATIHAN SOAL	211

JILID 2

BAB IV TEKNOLOGI PROSES	213
4.1. DIAGRAM ALIR PROSES.....	214
4.2. IDENTIFIKASI SATUAN PROSES DAN OPERASI PADA KIMIA INDUSTRI.....	240
4.3. PROSES MENGUBAH UKURAN BAHAN PADAT	241
4.4. PROSES PENCAMPURAN BAHAN	243
4.5. PENYULINGAN (<i>Distillation</i>).....	248
4.6. ADSORPSI.....	269
4.7. ABSORBSI	271
4.8. EKSTRAKSI.....	277
4.9. FILTRASI.....	294
4.10. SUBLIMASI.....	299
4.11. EVAPORASI.....	302
4.12. PENUKAR PANAS	303
4.13. SATUAN PROSES KIMIA (REAKSI KIMIA DAN KATALIS)	307
RANGKUMAN.....	327
CONTOH SOAL.....	328
LATIHAN SOAL	339

BAB V UTILITAS PABRIK	341
5.1. UNIT PENYEDIAAN LISTRIK.....	342
5.2. UNIT PENYEDIAAN AIR	343
5.3. UNIT PENGADAAN UAP	358
5.4. SISTEM UTILITAS UDARA TEKAN	363
5.5. BAHAN BAKAR	371
5.6. OPERASI PEMBAKARAN	384
5.7. PETUNJUK UNTUK OPERATOR.....	385
5.8. LABORATORIUM PENUNJANG INDUSTRI KIMIA	388
RANGKUMAN	410
CONTOH SOAL	414
LATIHAN SOAL	420
BAB VI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA .	421
6.1. PENDAHULUAN	421
6.2. MANAJEMEN RESIKO	483
6.3. BAHAYA BAHAN KIMIA.....	507
6.4. LIMBAH INDUSTRI.....	528
6.5. PEMBUATAN LAPORAN INFENTARISASI BAHAN	
KIMIA.....	549
6.6. PEDOMAN KESELAMATAN KERJA YANG	
BERHUBUNGAN DENGAN PERALATAN.....	552
6.7. PEMERIKSAAN KEAMANAN SEBELUM	
MENGHIDUPKAN PERALATAN	553
RANGKUMAN	558
CONTOH SOAL	559
LATIHAN SOAL	559

JILID 3

BAB VII LIMBAH INDUSTRI	561
7.1. PENCEMARAN DAN LINGKUNGAN.....	562
7.2. JENIS LIMBAH INDUSTRI.....	574
7.3. LIMBAH GAS DAN PARTIKEL.....	586
7.4. LIMBAH PADAT	593
7.5. NILAI AMBANG BATAS	605
RANGKUMAN	742
CONTOH SOAL	742
LATIHAN SOAL	744

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN B. GLOSARIUM

SINOPSIS

Buku merupakan salah satu masukan (*input*) dalam proses pembelajaran dengan demikian akan mempunyai pengaruh terhadap keluaran (*output*). Buku sebagai bagian dari proses pada dasarnya merupakan suatu kumpulan dari teori-teori yang masih berlaku dan dalam bidang kejuruan teknik teori tersebut dapat diaplikasikan dalam bentuk nyata untuk mempermudah kehidupan manusia. Buku dengan judul “Kimia-Industri” merupakan buku yang diperuntukkan bagi siswa maupun pengajar dalam bidang kejuruan teknik khususnya kimia.

Buku ini diawali (dalam bab I) dengan membahas mengenai pengenalan Kimia Industri, yaitu aplikasi (bagian utama dalam bidang kejuruan teknik) dari ilmu kimia maupun ilmu penunjang yang lain seperti fisika untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dalam skala industri. Pengenalan ini cukup penting, karena aplikasi kimia dalam skala industri diperlukan ilmu-ilmu penunjang tersebut. Membahas skala industri, tentunya akan mempunyai interpretasi produk dalam skala yang besar (baik kuantitas maupun kualitas). Oleh karenanya akan diperlukan bahan baku dan juga manusia sebagai salah satu bagian dari “sumber daya”, telah dibahas pada bab I. Sedangkan bab-bab selanjutnya merupakan pembahasan lebih lanjut dari bab I.

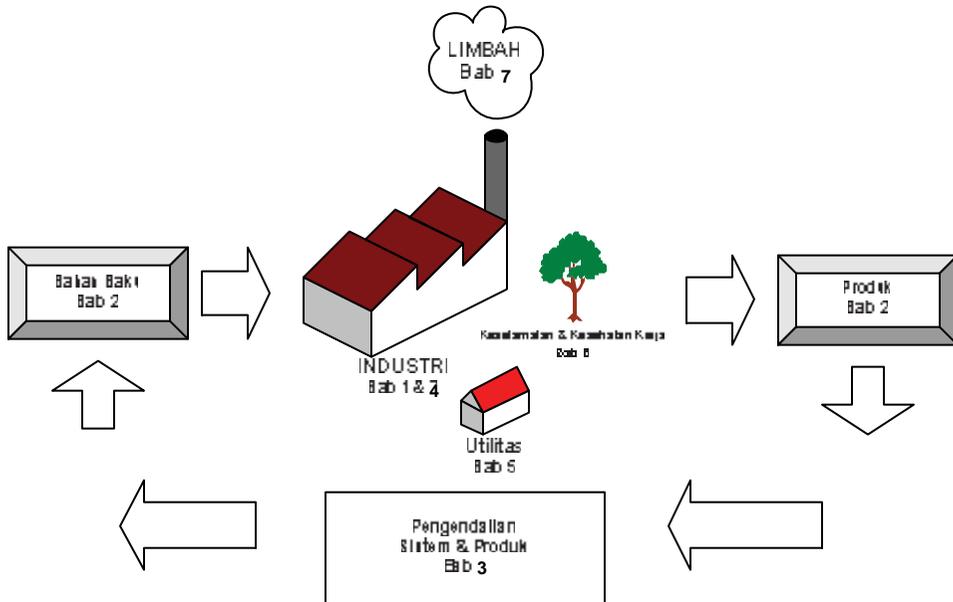
Bab II membahas bahan baik awal (sebagai bahan baku) maupun akhir (sebagai bagian dari produk) yang merupakan tujuan utama dari seseorang yang bergerak dibidang kejuruan teknik khususnya kimia. Sedangkan bagaimana mengubah dari bahan baku menjadi suatu produk akan dibahas pada bab IV mengenai teknologi proses.

Dalam memproduksi suatu bahan dalam skala industri, tentunya selain mempertimbangkan kuantitas juga perlu mempertimbangkan kualitas. Untuk menjaga kualitas dari suatu produk, maka diperlukan instrumen untuk mengendalikannya sistem proses yang dibahas pada bab III. Sedangkan satuan (*unit*) penunjang dalam suatu industri berupa pembangkit tenaga listrik, pembangkit uap, pengolahan air proses maupun pengolahan air limbah dibahas pada bab VII.

Kesan industri sebagai bagian sistem yang mengeksplorasi dari “sumber daya” perlu mendapat perhatian khusus agar tidak merusakkan sumber daya tersebut sehingga kelestariannya dapat dipertahankan. Permasalahan ini dibahas pada bab VI. Dua hal yang perlu diperhatikan keterkaitannya dengan sumber daya, yaitu sumber daya alam dan sumber daya manusia. Sumber daya alam menyangkut permasalahan

penggunaan bahan baku khususnya yang langsung diambil dari alam dan juga bahan yang dibuang ke alam. Bahan hasil produksi yang dibuang ke alam baik berupa bahan padat, cair maupun gas dibahas dalam sub-bab mengenai masalah limbah. Sedangkan untuk melestarikan sumber daya manusia sebagai bagian dari pada kehidupan, dibahas lebih mendalam pada sub bab K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja).

Garis Besar Isi Buku

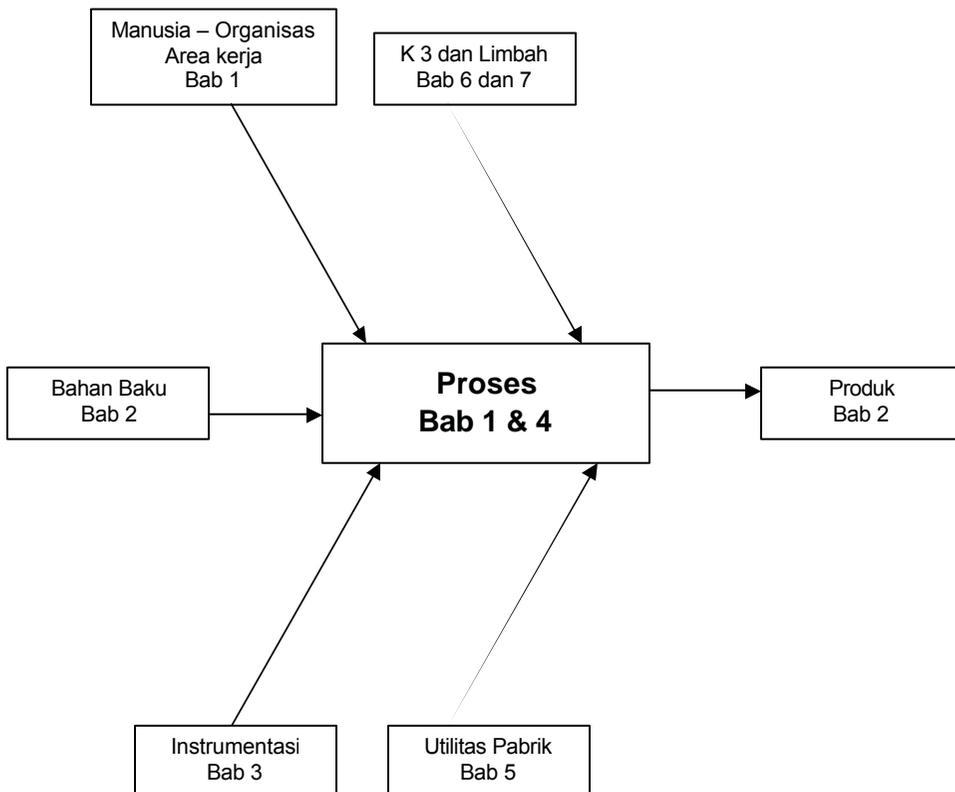


DESKRIPSI KONSEP PENULISAN

Era globalisasi sedang berlangsung baik dalam bidang perdagangan maupun bidang lainnya, seperti informatika dan pendidikan. Globalisasi ini membawa dampak positif, antara lain kebebasan pertukaran informasi, perdagangan dan perindustrian, yang pada akhirnya dapat memajukan masyarakat karena terjadinya peningkatan ilmu pengetahuan.

Menyikapi kondisi tersebut, penulis menyusun buku Kimia Industri sebagai buku pegangan siswa agar mempunyai wawasan, jika nantinya bekerja di dunia industri.

Adapun konsep penulisan sebagai berikut :



Bab 1 : Pengenalan Kimia Industri

Kimia Industri mencakup hal yang cukup luas. Pada bagian ini akan diperkenalkan mengenai Kimia Industri, yang akan dimulai berdasarkan akar katanya, yaitu Kimia dan Industri. Selanjutnya pada sub bab selanjutnya akan dibahas mengenai sistem manajemen dalam suatu industri dan area kerja, khususnya industri besar dimana pada bagian ini akan terlihat pembagian pelaksanaan tugas mulai dari tingkat pelaksana

yang dalam hal ini diduduki oleh seseorang dengan klasifikasi pendidikan minimal Sekolah Menengah Kejuruan Teknik / STM sampai dengan tingkat manajer puncak dengan klasifikasi pendidikan minimal sarjana. Dengan demikian diharapkan dapat sebagai gambaran kompetensi yang diperlukan apabila seseorang bekerja pada bidang industri kimia.

Bab II : Bahan Baku untuk Produk Industri

Menjelaskan persiapan bahan baku dan bahan penunjang serta persiapan bahan kimia untuk menghasilkan suatu produk. Selain itu juga pengelolaan bahan-bahan cadangan.

Bab III : Instrumentasi dan Pengukuran

Setiap alat yang digunakan dan dioperasikan dalam sebuah pabrik dilengkapi dengan instrumen untuk mengukur parameter-parameter tertentu sesuai kondisi operasi yang harus selalu dipantau setiap saat. Instrumen yang dimaksud terdiri dari dua macam yaitu instrumen lokal dan instrumen panel. Skala ukur yang terbaca dalam instrumen lokal merupakan kontrol terhadap skala ukur instrumen panel.

Untuk mendasari pengetahuan yang diperlukan dalam kegiatan mengukur maka di bawah ini dibahas tentang satuan dan standardnya, konsep angka penting dan galat serta kelainan skala ukur. Alat-alat ukur yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan terdiri dari alat pengukur suhu, alat pengukur tekanan, alat pengukur aliran, dan alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD.

Bab IV : Teknologi Proses

Kata teknologi mempunyai arti **aplikasi** dari ilmu pengetahuan (scientific) yang digunakan dalam rangka untuk mempermudah kehidupan manusia. Dengan teknologi, maka manusia akan dapat melakukan sesuatu menjadi lebih mudah. Sedangkan proses secara umum merupakan **perubahan** dari **masukkan** (*input*) dalam hal ini bahan baku setelah melalui proses maka akan menjadi **keluaran** (*output*) dalam bentuk produk. Ada tiga kata kunci dalam mengartikan proses, yaitu input, perubahan dan output.

Dengan demikian “teknologi proses” merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan untuk merubah bahan baku menjadi produk atau bahan yang mempunyai nilai lebih (*added value*), dimana perubahan dapat berupa perubahan yang bersifat fisik maupun perubahan yang bersifat kimia dalam skala besar atau disebut dengan skala industri. Perubahan yang bersifat fisik disebut dengan satuan operasi (*unit operation*), sedangkan yang bersifat perubahan kimia disebut dengan satuan proses (*unit process*).

Untuk bisa memahami suatu proses yang terjadi di industri kimia maka terlebih dahulu harus bisa membaca diagram alir proses serta mengenal simbol dan jenis-jenis peralatan yang digunakan pada industri kimia.

Untuk bisa mengoperasikan peralatan industri kimia maka perlu memahami beberapa satuan operasi, mulai dari (1) Proses mengubah ukuran bahan padat dengan menggunakan mesin pemecah (*crusher*), mesin giling (*grinder*), dan mesin potong (*cutting machine*), (2) Pencampuran bahan yang merupakan peristiwa menyebarnya bahan-bahan secara acak, dimana bahan yang satu menyebar ke dalam bahan yang lain demikian pula sebaliknya, sedang bahan-bahan itu sebelumnya terpisah dalam keadaan dua fase atau lebih yang akhirnya membentuk hasil yang lebih seragam (homogen), (3) Distilasi (penyulingan) adalah proses pemisahan komponen dari suatu campuran yang berupa larutan cair-cair dimana karakteristik dari campuran tersebut adalah mampu-campur dan mudah menguap, selain itu komponen-komponen tersebut mempunyai perbedaan tekanan uap dan hasil dari pemisahannya menjadi komponen-komponennya atau kelompok-kelompok komponen. Karena adanya perbedaan tekanan uap, maka dapat dikatakan pula proses penyulingan merupakan proses pemisahan komponen-komponennya berdasarkan perbedaan titik didihnya. Baik distilasi dengan peralatan skala laboratorium maupun skala industri, (4) Adsorpsi atau penyerapan adalah proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Misalnya, limbah industri pencucian kain batik diadsorpsi zat warnanya dengan menggunakan arang tempurung kelapa yang sudah diaktifkan. Limbah elektroplating yang mengandung nikel, logam berat nikel diadsorpsi dengan zeolit yang diaktifkan, (5) Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan adsorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Tujuannya untuk meningkatkan nilai guna dari suatu zat dengan cara merubah fasenya, (6) Ekstraksi adalah pemisahan suatu zat dari campurannya dengan pembagian sebuah zat terlarut antara dua pelarut yang tidak dapat bercampur untuk mengambil zat terlarut tersebut dari satu pelarut ke pelarut yang lain, (7) Filtrasi adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau *septum*, dimana zat padat itu tertahan. Pada industri, filtrasi ini meliputi ragam operasi mulai dari penyaringan sederhana hingga pemisahan yang kompleks. Fluida yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas; aliran yang lolos dari

saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya. Filtrasi dengan peralatan skala laboratorium sampai skala pilot plant/industri baik *batch* maupun *kontinyu*, (8) Operasi evaporasi atau penguapan pada dasarnya merupakan operasi pendidihan khusus, dimana terjadi peristiwa perpindahan panas dalam cairan mendidih. Tujuan operasi evaporasi adalah untuk memperoleh larutan pekat dari larutan encer dengan jalan pendidihan dan penguapan, (9) Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien.

Satuan Proses Kimia merupakan proses yang melibatkan reaksi Kimia dan katalis. Reaksi kimia merupakan suatu proses dimana bahan sebelum diproses disebut dengan reaktan dan hasilnya produk. Lambang dari reaksi kimia sebelum dan sesudah proses menggunakan tanda panah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah ukuran partikel/zat, suhu dan katalis. Jenis-jenis reaksi kimia yang banyak digunakan diindustri adalah reaksi katalitik (reaksi dengan katalis) dan reaksi netralisasi. Contoh Proses Kimia dengan Reaksi Katalitik pada Industri Kecil – Menengah : Industri pembuatan biodiesel dari bahan alami yang terbarukan (minyak nabati) dan katalis kimia atau biologis. Sedangkan industri minyak jagung adalah contoh untuk proses kimia yang melibatkan reaksi netralisasi.

Bab V : Utilitas Pabrik

Sebuah pabrik mempunyai dua sistem proses utama, yaitu sistem pereaksian dan sistem proses pemisahan & pemurnian. Kedua sistem tersebut membutuhkan kondisi operasi pada suhu dan tekanan tertentu. Dalam pabrik, panas biasanya 'disimpan' dalam fluida yang dijaga pada suhu dan tekanan tertentu. Fluida yang paling umum digunakan adalah air panas dan uap air karena alasan murah dan memiliki kapasitas panas tinggi. Fluida lain biasanya digunakan untuk kondisi pertukaran panas pada suhu di atas 100 °C pada tekanan atmosfer. Air atau uap air bertekanan (dinamakan kukus atau *steam*) mendapatkan panas dari ketel uap (*boiler*).

Sistem pemindahan panas bertugas memberikan panas dan menyerap panas. Misalnya, menyerap panas dari sistem proses yang

menghasilkan energi seperti sistem proses yang melibatkan reaksi eksotermik atau menyerap panas agar kondisi sistem di bawah suhu ruang atau suhu sekitar. Sistem pemroses yang melakukan ini adalah *cooling tower*.

Cooling tower, *boiler* dan tungku pembakaran merupakan sistem-sistem pemroses untuk sistem penyedia panas dan sistem pembuang panas. Kedua sistem proses ini bersama-sama dengan sistem penyedia udara bertekanan, sistem penyedia listrik dan air bersih untuk kebutuhan produksi merupakan sistem penunjang berlangsungnya sistem proses utama yang dinamakan **sistem utilitas**. Kebutuhan sistem utilitas dan kinerjanya tergantung pada seberapa baik sistem utilitas tersebut mampu 'melayani' kebutuhan sistem proses utama dan tergantung pada efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan bakar.

Proses kimia sangat membutuhkan kelengkapan laboratorium kimia untuk pengontrolan kualitas bahan baku dan produk.

Bab VI : Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Seirama dengan derap langkah pembangunan negara dewasa ini, kita akan memajukan industri yang maju dan mandiri dalam rangka mewujudkan Era industrialisasi. Proses industrialisasi maju ditandai antara lain dengan mekanisme, elektrifikasi dan modernisasi.

Dalam keadaan yang demikian maka penggunaan mesin-mesin, pesawat-pesawat, instalasi-instalasi modern serta bahan berbahaya semakin meningkat. Hal tersebut disamping memberi kemudahan proses produksi dapat pula menambah jumlah dan ragam sumber bahaya di tempat kerja. Didalam hal lain akan terjadi pula lingkungan kerja yang kurang memenuhi syarat, proses dan sifat pekerjaan yang berbahaya, serta peningkatan intensitas kerja operasional tenaga kerja. Masalah tersebut diatas akan sangat memengaruhi dan mendorong peningkatan jumlah maupun tingkat keseriusan kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja dan pencemaran lingkungan.

Untuk itu semua pihak yang terlibat dalam usaha berproduksi khususnya para pengusaha dan tenaga kerja diharapkan dapat mengerti, memahami dan menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja di tempat kerja masing-masing. Agar terdapat keseragaman dalam pengertian, pemahaman dan persepsi K3, maka perlu adanya suatu pola yang baku tentang keselamatan dan kesehatan kerja itu sendiri. Buku ini disusun sebagai materi pengantar K3 agar lebih memudahkan untuk mempelajari lebih jauh tentang keselamatan dan kesehatan kerja.

Bab VII : Limbah Industri

Adalah konsekuensi logis dari setiap pendirian pabrik meskipun tidak semua pabrik memproduksi limbah. Limbah yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun dengan konsentrasi tertentu lepas ke dalam lingkungan menciptakan pencemaran dalam wadah penerima baik sungai, tanah maupun udara.

Pemahaman akan pencemaran sangat penting artinya bagi masyarakat maupun pengusaha. Seringkali pencemaran itu diinterpretasikan secara sempit sehingga jangkauan pemahaman pun terbatas pada hal-hal yang sifatnya insidental pula. Padahal pencemaran dan akibat yang ditimbulkan dapat diketahui setelah puluhan tahun berlangsung.

Banyak industri berdiri tanpa program pencegahan dan pengendalian pencemaran. Ketika menyadari bahwa program itu merupakan prioritas pengembangan usaha, ditemui berbagai rintangan seperti lahan yang terbatas, perlu investasi tambahan, perlu tenaga ahli dan sejumlah kekurangan lain yang perlu segera ditanggulangi.

PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (1)

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
B.1	Pengenalan Kimia Industri																					
1.1									v													
1.2									v										v			
1.3	v																					
1.4	v																					
B.2	Bahan dan Produk																					
2.1					v		v															
2.2					v																	
B.3	Instrumentasi dan Pengukuran																					
3.1		v																				
3.2		v																				
3.3		v														v						
3.4				v																	v	
3.5				v																		
3.6				v																		
B.4	Teknologi Proses																					
4.1									v													
4.2									v													
4.3			v														v					
4.4						v													v			
4.5									v													
4.6									v													
4.7									v													
4.8									v													
4.9									v													
4.10									v													
4.11									v													
4.12									v													
4.13									v													
B.5	Utilitas Pabrik																					
5.1	v																					
5.2						v																
5.3			v																			
5.4					v																v	
5.5			v																			
5.6						v																
5.7		v																				
5.8	v				v	v	v				v											
B.6	K3 (Kesehatan & Keselamatan Kerja)																					
6.1			v	v							v	v										
6.2											v	v										
6.3						v					v	v										

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
6.4								<			<											
B.7	Limbah																					
7.1	v		v								<	<										
7.2	v		v								<	<										
7.3	v		v								<	<										

PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (2)

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
B.1	Pengenalan Kimia Industri																					
1.1	v																					
1.2	v		v	v		v		v					v	v								
1.3	v		v																	v		
1.4																						
B.2	Bahan dan Produk																					
2.1			v																			
2.2					v																	
B.3	Instrumentasi dan Pengukuran																					
3.1				v																		
3.2			v																			
3.3				v																		
3.4					v																	
3.5						v																
3.6									v													
B.4	Teknologi Proses																					
4.1				v																		
4.2						v																
4.3								v														
4.4		v																				
4.5				v						v												
4.6						v																
4.7						v																
4.8								v														
4.9															v							
4.10													v									
4.11													v									
4.12			v														v					
4.13	v																					
B.5	Utilitas Pabrik																					
5.1						v																
5.2								v											v		v	
5.3			v																			
5.4		v						v														
5.5					v																	
5.6					v																	
5.7					v																	
5.8																					v	
B.6	K3 (Kesehatan & Keselamatan Kerja)																					
6.1													v									
6.2														v								
6.3														v								
6.4											v				v							

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA									
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01
B.7	Limbah																				
7.1												<									
7.2														<							
7.3																<					

BAB VII

LIMBAH INDUSTRI

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Limbah mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan bahaya. Limbah ini dikenal dengan limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Bahan ini dirumuskan sebagai bahan dalam jumlah relatif sedikit tapi mempunyai potensi mencemarkan/merusakkan lingkungan kehidupan dan sumber daya. Bahan beracun dan berbahaya banyak dijumpai sehari-hari, baik sebagai keperluan rumah tangga maupun industri yang tersimpan, diproses, diperdagangkan, diangkut dan lain-lain. Insektisida, herbisida, zat pelarut, cairan atau bubuk pembersih deterjen, amoniak, sodium nitrit, gas dalam tabung, zat pewarna, bahan pengawet dan masih banyak lagi untuk menyebutnya satu per satu. Bila ditinjau secara kimia bahan-bahan ini terdiri dari bahan kimia organik dan anorganik. Terdapat lima juta jenis bahan kimia telah dikenal dan di antaranya 60.000 jenis sudah dipergunakan dan ribuan jenis lagi bahan kimia baru setiap tahun diperdagangkan.

Sebagai limbah, kehadirannya cukup mengkhawatirkan terutama yang bersumber dari pabrik industri^y Bahan beracun dan berbahaya banyak digunakan sebagai bahan baku industri maupun sebagai penolong. Beracun dan berbahaya dari limbah ditunjukkan oleh sifat fisik dan kimia bahan itu sendiri, baik dari jumlah maupun kualitasnya. Beberapa kriteria berbahaya dan beracun telah ditetapkan antara lain mudah terbakar, mudah meledak, korosif, oksidator dan reduktor, iritasi bukan radioaktif, mutagenik, patogenik, mudah membusuk dan lain-lain. Dalam jumlah tertentu dengan kadar tertentu, kehadirannya dapat merusakkan kesehatan bahkan mematikan manusia atau kehidupan lainnya sehingga perlu ditetapkan batas-batas yang diperkenankan dalam lingkungan pada waktu tertentu.

Adanya batasan kadar dan jumlah bahan beracun dan berbahaya pada suatu ruang dan waktu tertentu dikenal dengan istilah nilai ambang batas, yang artinya dalam jumlah demikian masih dapat ditoleransi oleh

lingkungan sehingga tidak membahayakan lingkungan ataupun pemakai. Karena itu untuk tiap jenis bahan beracun dan berbahaya telah ditetapkan nilai ambang batasnya.

Tingkat bahaya keracunan yang disebabkan limbah tergantung pada jenis dan karakteristiknya baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka waktu relatif singkat tidak memberikan pengaruh yang berarti, tapi dalam jangka panjang cukup fatal bagi lingkungan. Oleh sebab itu pencegahan dan penanggulangan haruslah merumuskan akibat-akibat pada suatu jangka waktu yang cukup jauh.

Melihat pada sifat-sifat limbah, karakteristik dan akibat yang ditimbulkan pada masa sekarang maupun pada masa yang akan datang diperlukan langkah pencegahan, penanggulangan dan pengelolaan.

7.1. Pencemaran dan Lingkungan

Pembangunan industri di Indonesia berdasarkan konsepsi Wilayah Pusat Pertumbuhan Industri yang mencerminkan keterpaduan dan keterkaitan serta bertumpu pada potensi sumberdaya alam dan energi. Atas dasar ini dilakukan dua macam pendekatan yaitu pendekatan sektoral dan pendekatan regional. Pendekatan sektoral dilakukan melalui pembangunan industri dasar sedangkan pendekatan regional dilakukan melalui pengembangan wilayah industri, meliputi wilayah pusat pertumbuhan industri, zona industri, kawasan industri, pemukiman industri kecil dan sentra-sentra industri kecil.

Pada dasarnya pengembangan wilayah adalah usaha pembangunan daerah yang memperhitungkan keterpaduan program sektoral seperti pertanian, pertambangan, aspirasi masyarakat dan potensi lain dengan memperhatikan kondisi lingkungan.

Pembangunan industri dasar berorientasi pada lokasi tersedianya sumber pembangunan lain. Pada umumnya lokasi industri dasar belum tersentuh pembangunan, baik dalam arti kualitatif maupun kuantitatif bahkan masih bersifat alami. Adanya pembangunan industri ini akan mengakibatkan perubahan lingkungan seperti berkembangnya jaringan infra struktur dan akan menumbuhkan kegiatan lain untuk menunjang kegiatan yang ada.

Pembangunan di satu pihak menunjukkan dampak positif terhadap lingkungan dan masyarakat seperti tersedianya jaringan jalan,

telekomunikasi, listrik, air, kesempatan kerja serta produknya sendiri memberi manfaat bagi masyarakat luas dan juga meningkatkan pendapatan bagi daerah yang bersangkutan. Masyarakat sekitar pabrik langsung atau tidak langsung dapat menikmati sebagian dari hasil pembangunannya. Di pihak lain apabila pembangunan ini tidak diarahkan akan menimbulkan berbagai masalah seperti konflik kepentingan, pencemaran lingkungan, kerusakan, pengurasan sumberdaya alam, masyarakat konsumtif serta dampak sosial lainnya yang pada dasarnya merugikan masyarakat.

Pembangunan industri pada gilirannya membentuk suatu lingkungan kehidupan zona industri. Dalam zona industri kehidupan masyarakat makin berkembang; zona industri secara bertahap dilengkapi pembangunan sektor ekonomi lain seperti peternakan, perikanan, *home industry*, dan pertanian sehingga diperlukan rencana pembangunan wilayah berdasarkan konsep tata ruang. Tujuan rencana tata ruang ini untuk meningkatkan asas manfaat berbagai sumberdaya yang ada dalam lingkungan seperti meningkatkan fungsi perlindungan terhadap tanah, hutan, air, flora, fungsi industri, fungsi pertanian, fungsi pemukiman dan fungsi lain. Peningkatan fungsi setiap unsur dalam lingkungan artinya meningkatkan dampak positif semaksimal mungkin sedangkan dampak negatif harus ditekan sekecil mungkin. Konsepsi pembangunan wilayah dengan dasar tata ruang sangat dibutuhkan dalam upaya pembangunan industri berwawasan lingkungan.

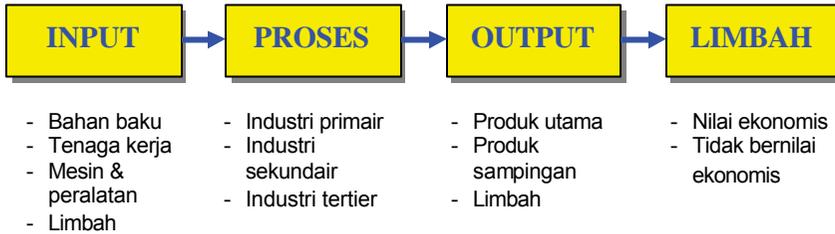
7.1.1 Industri dan Klasifikasinya

Industri diklasifikasi menjadi 3 bagian, yaitu (1) Industri dasar atau hulu, (2)-Industri hilir dan (3)-Industri kecil. Sesuai dengan program Pemerintah untuk lebih memudahkan dalam pembinaannya, industri dasar dirinci menjadi Industri Kimia Dasar dan Industri Mesin dan Logam. Dasar, sedangkan industri hilir sering juga disebutkan dengan Aneka Industri.

Selain penggolongan tersebut industri juga diklasifikasikan menjadi 3, yaitu: industri primer, industri yang mengubah bahan mentah menjadi setengah jadi; industri sekunder, adalah industri yang merubah barang setengah jadi menjadi barang jadi; industri tertier, sebagian besar meliputi industri jasa ataupun industri lanjutan yang mengolah bahan industri sekunder.

Ciri masing-masing industri adalah sebagai berikut:

Industri hulu mempunyai ciri-ciri padat modal, berskala besar, menggunakan teknologi maju dan teruji. Lokasinya selalu dipilih dekat dengan bahan baku yang mempunyai sumber energi sendiri, dan pada umumnya lokasi ini belum tersentuh pembangunan. Karena itu diperlukan perencanaan yang matang beserta tahapan pembangunan, mulai dari perencanaan sampai operasional.



Gambar 7.18. Sistem input-output industri dan kemungkinan limbah

Dari sudut lain diperlukan pengaturan tata ruang, rencana pemukiman, pengembangan kehidupan perekonomian, pencegahan kerusakan lingkungan dan lain-lain. Pembangunan industri ini akan mengakibatkan perubahan lingkungan baik dari aspek sosial ekonomi dan budaya dan pencemaran. Terjadi perubahan tatanan sosial, pola konsumsi, bentang alam, tingkah laku, habitat binatang, permukaan tanah, sumber air, kemunduran kualitas udara, pengurangan sumberdaya alam lainnya.

- Industri hilir. Industri ini sebagai perpanjangan proses dari industri hulu. Pada umumnya industri ini mengolah bahan setengah jadi menjadi barang jadi. Lokasinya selalu diupayakan dekat pasar. Menggunakan teknologi madya dan teruji. Banyak menyerap tenaga kerja.
- Industri kecil. Industri ini banyak berkembang di pedesaan maupun di kota. Industri kecil peralatannya sederhana. Walaupun hakekat produksi sama dengan industri hilir, tapi sistem pengolahannya lebih sederhana. Sistem tata letak pabrik, pengolahan limbah belum mendapat perhatian. Industri ini banyak menyerap tenaga kerja.

7.1.2 Industri sebagai Sumber Pencemaran

Pada dasarnya fungsi industri mengolah *input* menjadi *output*.

Sebagai *input* meliputi bahan baku, bahan penolong, tenaga kerja mesin dan tenaga ahli dan lain-lain.

Pilihan klasifikasi industri tergantung pada jenis bahan baku sehingga pengelompokannya dapat dilakukan dengan mudah apakah suatu industri itu termasuk dalam kelompok industri primair, sekunder ataupun tertier. Untuk beberapa hal industri primer dapat diidentifikasi sebagai industri hulu karena pada dasarnya industri itu mengolah bahan baku menjadi bahan setengah jadi, seperti pengolahan hasil pertanian, perkebunan, pertambangan dan obat-obatan.

Sebagai *output* industri diklasifikasikan produk utama, sampingan dan limbah yang dapat diuraikan menjadi limbah bernilai ekonomis dan nonekonomis.

Penyelidikan sumber pencemaran dapat dilaksanakan pada *input*, proses maupun pada *output-nya* dengan melihat jenis dan spesifikasi limbah yang diproduksi.

Bagan 1 menggambarkan hubungan antara subkegiatan dengan kegiatan lain yang terdapat kemungkinan limbah diproduksi.

Pencemaran yang ditimbulkan industri karena ada limbah keluar pabrik mengandung bahan beracun dan berbahaya. Bahan pencemar keluar bersama bahan buangan melalui media udara, air dan bahan padatan. Bahan buangan yang keluar dari pabrik masuk dalam lingkungan dapat diidentifikasi sebagai sumber pencemar. Sebagai sumber pencemar perlu diketahui jenis bahan pencemar yang keluar, jumlah dan jangkauannya. Antara pabrik satu dengan yang lain berbeda jenis, dan jumlahnya tergantung pada penggunaan bahan baku, sistem proses, dan cara kerja karyawan dalam pabrik.

Untuk mengidentifikasi industri sebagai pencemar maka perlu diketahui jenis industrinya, bahan baku, sistem proses dan pengolahan akhir.

7.1.3 Industri Versus Lingkungan

Pencemaran terjadi akibat bahan beracun dan berbahaya dalam limbah lepas masuk lingkungan hingga terjadi perubahan kualitas lingkungan. Sumber bahan beracun dan berbahaya dapat diklasifikasikan: (1) industri kimia organik maupun anorganik, (2) penggunaan bahan beracun dan berbahaya sebagai bahan baku atau bahan penolong dan (3) peristiwa kimia-fisika, biologi dalam pabrik.

Lingkungan sebagai badan penerima akan menyerap bahan tersebut sesuai dengan kemampuan. Sebagai badan penerima adalah udara, permukaan tanah, air sungai, danau dan lautan yang masing-masing mempunyai karakteristik berbeda. Air di suatu waktu dan tempat tertentu berbeda karakteristiknya dengan air pada tempat yang sama dengan waktu yang berbeda. Air berbeda karakteristiknya akibat peristiwa alami serta pengaruh faktor lain.

Kemampuan lingkungan untuk memulihkan diri sendiri karena interaksi pengaruh luar disebut daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan antara tempat satu dengan tempat yang lain berbeda. Komponen lingkungan dan faktor yang mempengaruhinya turut menetapkan nilai daya dukung.

Bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan akan bereaksi dengan satu atau lebih komponen lingkungan. Perubahan komponen lingkungan secara fisika, kimia dan biologis sebagai akibat dari bahan pencemar, membawa perubahan nilai lingkungan yang disebut perubahan kualitas.

Limbah yang mengandung bahan pencemar akan merubah kualitas lingkungan bila lingkungan tersebut tidak mampu memulihkan kondisinya sesuai dengan daya dukung yang ada padanya. Oleh karena itu penting diketahui sifat limbah dan komponen bahan pencemar yang terkandung.

Pada beberapa daerah di Indonesia sudah ditetapkan nilai kualitas limbah air dan udara. Namun baru sebagian kecil. Sedangkan kualitas lingkungan belum ditetapkan. Perlunya penetapan kualitas lingkungan mengingat program industrialisasi sebagai salah satu sektor yang memerankan andil besar terhadap perekonomian dan kemakmuran bagi suatu bangsa.

Penggunaan air yang berlebihan, sistem pembuangan yang belum memenuhi syarat, karyawan yang tidak terampil, adalah faktor yang harus dipertimbangkan dalam mengidentifikasi sumber pencemar. Produk akhir, seperti pembungkusan, pengemasan tabung dan kotak, sistem pengangkutan, penyimpanan, pemakaian dengan aturan dan persyaratan yang tidak memenuhi ketentuan merupakan sumber pencemar juga.

Bagan berikut menunjukkan sistematika identifikasi pencemar pada pabrik.

Pengadaan: Bahan baku diangkut dari sumbernya menuju pabrik. Untuk hal tersebut perlu diketahui sifat bahan baku, bagaimana cara pengambilannya, di mana diambil, melalui apa diangkut dan bagaimana cara mengangkut terbuka atau tertutup merupakan keadaan yang perlu dikaji secara mendalam. Misalnya sumber pengambilan bahan baku berdekatan dengan sumber mata air yang mengakibatkan konflik kepentingan. Kemudian penyimpanan bahan baku di mana dilakukan dan selama penyimpanan berlangsung harus diketahui sifat-sifatnya: mudah busuk, mudah berkarat dan lain-lain.

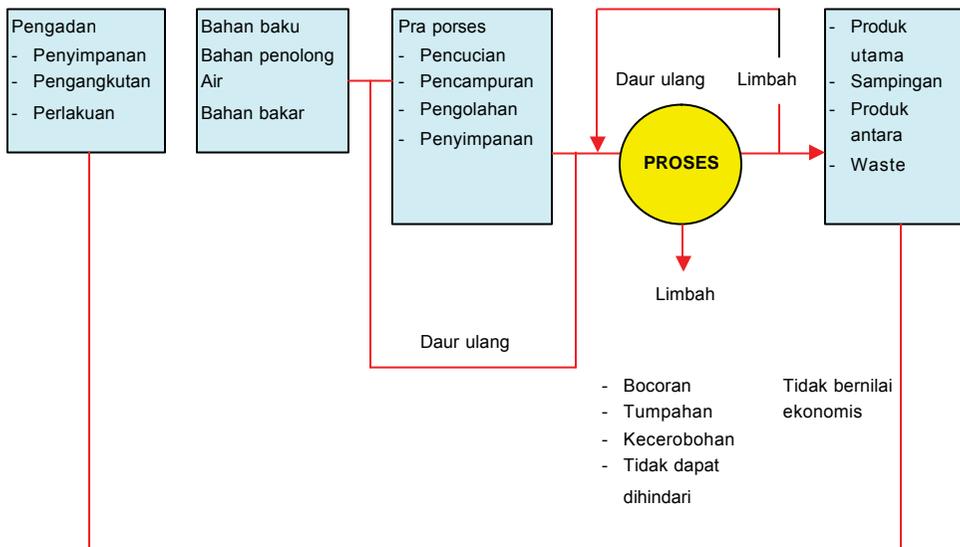
Praproses: Di antara bahan baku memerlukan proses pendahuluan sebelum dilakukan pengolahan. Bahan baku kayu untuk *plywood* perlu dipotong-potong dahulu, lalu dicuci. Pencucian memerlukan banyak air dan menimbulkan Lumpur. Bahan baku ubi kayu mendapat perlakuan pendahuluan. Banyak bahan baku yang membutuhkan pencucian, pencampuran dengan bahan baku kimia, kemudian disimpan beberapa lama sampai pada waktunya diproses.

Proses: Pada waktu proses berlangsung perlu diteliti bagian yang banyak menggunakan air, menghasilkan bahan buangan antara bocoran dan jenis mesin yang dipergunakan. Dalam hal ini perlu dilihat bagian mana yang potensial menciptakan limbah dan penghasil limbah. Kemudian limbah ini memerlukan daur ulang. Kalau masih bernilai ekonomis maka limbah tadi dikembalikan untuk memperoleh bahan yang masih bernilai ekonomi. Limbah yang tidak mempunyai nilai ekonomis, diolah sampai memenuhi syarat buangan, baru selanjutnya dibuang.

Produk: Produk suatu pabrik secara rinci dapat diklasifikasikan menjadi produk utama, produk sampingan, produk antara dan buangan. Produk sampingan dan antara memerlukan pengolahan lanjut, sedangkan buangan harus segera ditangani. Buangan akhir ini juga perlu diteliti apakah mempunyai nilai ekonomi atau tidak. Bila masih terdapat nilai ekonomis maka limbah didaur ulang, sedangkan bila tidak mempunyai nilai ekonomis, limbah tersebut dibuang setelah memenuhi syarat buangan.

Perlu pula diteliti tingkat ketrampilan dan kesadaran pimpinan perusahaan dan karyawan dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Terjadinya penggunaan air yang berlebihan, tercecernya bahan dalam pabrik, timbulnya limbah air yang seharusnya dapat dihindari, terdapatnya bocoran air yang seharusnya tidak perlu dan masalah lain yang serupa, menunjukkan bahwa perusahaan kurang tanggap terhadap lingkungan atau keterampilan mereka terbatas dalam menjalankan teknik produksi.



Gambar 7.19. Proses pengolahan limbah

Kualitas lingkungan pada suatu periode dan lokasi tertentu perlu diketahui dalam kaitannya dengan perencanaan proyek industri. Setiap industri yang akan berdiri pada lokasi tersebut harus mengetahui kondisi lingkungan sehingga kehadiran pabrik tidak menyebabkan rusaknya lingkungan. Monitoring terhadap pengaruh limbah pabrik dapat dilakukan setiap saat sampai kualitas lingkungan mengalami perubahan dan langkah yang dilaksanakan untuk menjaga kelestarian lingkungan.

Daya dukung lingkungan juga belum ditetapkan. Hal ini perlu dibuat dalam rangka menetapkan standar kualitas buangan. Kualitas yang ditetapkan seharusnya merupakan indikasi bahwa dalam kondisi tersebut lingkungan masih mampu menerima. Artinya dengan kualitas limbah tersebut kualitas lingkungan tidak mengalami perubahan.

Hubungan antara kualitas dan daya dukung lingkungan serta kualitas limbah merupakan hubungan yang saling ketergantungan dan perlu distandarkan.

A. Daya Dukung Lingkungan

Lingkungan secara alami memiliki kemampuan untuk memulihkan keadaannya. Pemulihan keadaan ini merupakan suatu prinsip bahwa sesungguhnya lingkungan itu senantiasa arif menjaga keseimbangannya. Sepanjang belum ada gangguan "paksa" maka apapun yang terjadi, lingkungan itu sendiri tetap bereaksi secara seimbang. Perlu ditetapkan daya dukung lingkungan untuk mengetahui kemampuan lingkungan menetralsasi parameter pencemar dalam rangka pemulihan kondisi lingkungan seperti semula.

Apabila bahan pencemar berakumulasi terus menerus dalam suatu lingkungan, sehingga lingkungan tidak punya kemampuan alami untuk menetralsasinya yang mengakibatkan perubahan kualitas. Pokok permasalahannya adalah sejauh mana perubahan ini diperkenankan.

Tanaman tertentu menjadi rusak dengan adanya asap dari suatu pabrik, tapi tidak untuk sebahagian tanaman lainnya. Contoh lain: dengan buangan air pada suatu sungai mengakibatkan peternakan ikan mas tidak baik pertumbuhannya, tapi cukup baik untuk ikan lele dan ikan gabus. Berarti daya dukung lingkungan untuk kondisi kehidupan ikan emas berbeda dengan daya dukung lingkungan untuk kondisi kehidupan ikan lelelgabus. Kenapa demikian, tidak lain karena parameter yang terdapat dalam air tidak dapat dinetralsasi lingkungan untuk kehidupan ikan emas.

Ada saatnya makhluk tertentu dalam lingkungan punya kemampuan yang luar biasa beradaptasi dengan lingkungan lain, tapi ada kalanya menjadi pasif terhadap faktor luar. Jadi faktor daya dukung tergantung pada parameter pencemar dan makhluk yang ada dalam lingkungan.

B. Kualitas Lingkungan

Pengaruh pencemar lingkungan diukur dengan perubahan kualitas lingkungan. Kualitas lingkungan ditetapkan pada suatu periode dan tempat tertentu. Kualitas adalah suatu numerik yang ditetapkan berdasarkan situasi dan kondisi tertentu dengan mempertimbangkan berbagai faktoryang mempengaruhi lingkungan. Kualitas lingkungan mengalami perubahan pada suatu periode tertentu sesuai dengan interaksi komponen lingkungan.

Dengan adanya kegiatan baru dalam lingkungan timbul interaksi baru antara satu kegiatan atau lebih dengan satu atau lebih komponen lingkungan. Interaksi tersebut menyebabkan saling pengaruh mempengaruhi dan pada gilirannya akan menimbulkan dampak positif maupun negatif.

Masuknya limbah pada lingkungan, katakanlah air buangan pabrik kelapa sawit, masuk pada badan air tentu akan menimbulkan perubahan sekecil apa sekalipun. Perubahan ini dapat membuat air menjadi keruh, berwarna, berbau dan sebagainya atau sebaliknya tidak menimbulkan pengaruh yang berarti. Bila limbah tidak memberikan perubahan kondisi air, berarti badan air masih mampu menetralsasinya. Artinya kualitas air belum mengalami perubahan yang berarti dan dengan demikian makhluk-makhluk dan tanam-tanaman dalam air hidup "tenteram" biasa.

Perlunya penetapan kualitas lingkungan adalah salah satu upaya untuk memantau kondisi lingkungan dan perubahannya akibat suatu kegiatan baru. Nilai kualitas ini berkaitan erat dengan kualitas limbah. Kualitas lingkungan diukur dari berbagai komponen yang ada dalam lingkungan, termasuk toleransinya.

C. Kualitas Limbah

Kualitas limbah menunjukkan spesifikasi limbah yang diukur dari kandungan pencemar dalam limbah. Kandungan pencemar dalam limbah terdiri dari berbagai parameter. Semakin sedikit parameter dan semakin kecil konsentrasi, menunjukkan peluang pencemar terhadap lingkungan semakin kecil. Limbah yang diproduksi pabrik berbeda satu dengan yang lain, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri pula. Karakteristik ini diketahui berdasarkan parameternya.

Apabila limbah masuk ke dalam lingkungan, ada beberapa kemungkinan yang diciptakan. Kemungkinan pertama, lingkungan tidak mendapat pengaruh yang berarti; kedua, ada pengaruh perubahan tapi tidak menyebabkan pencemaran; ketiga, memberi perubahan dan menimbulkan pencemaran. Ada berbagai alasan untuk mengatakan demikian. Tidak memberi pengaruh terhadap lingkungan karena volume limbah kecil dan parameter pencemar yang terdapat di dalamnya sedikit dengan konsentrasi kecil. Karena itu andaikata masuk pun dalam lingkungan ternyata lingkungan mampu menetralsasinya. Kandungan bahan yang terdapat dalam limbah konsentrasinya barangkali dapat

diabaikan karena kecilnya. Ada berbagai parameter pencemar yang menimbulkan perubahan kualitas lingkungan namun tidak menimbulkan pencemaran. Artinya lingkungan itu memberikan toleransi terhadap perubahan serta tidak menimbulkan dampak negatif.

Kualitas limbah dipengaruhi berbagai faktor. Yaitu volume air limbah, kandungan bahan pencemar, frekuensi pembuangan limbah? Penetapan standar kualitas limbah harus dihubungkan dengan kualitas lingkungan.

Kualitas lingkungan dipengaruhi berbagai komponen yang ada dalam lingkungan itu seperti kualitas air, kepadatan penduduk, flora dan fauna, kesuburan tanah, tumbuh-tumbuhan dan lain-lain. Adanya perubahan konsentrasi limbah menyebabkan terjadinya perubahan keadaan badan penerima. Semakin lama badan penerima dituangi air limbah, semakin tinggi pula konsentrasi bahan pencemar di dalamnya. Pada suatu saat badan penerima tidak mampu lagi memulihkan keadaannya. Zat-zat pencemar yang masuk sudah terlalu banyak dan mengakibatkan tidak ada lagi kemampuannya menetralsasinya.

Atas dasar ini perlu ditetapkan batas konsentrasi air limbah yang masuk dalam lingkungan badan penerima. Dengan demikian walau dalam jangka waktu seberapa pun lingkungan tetap mampu mentolerirnya. Toleransi ini menunjukkan kemampuan lingkungan untuk menetralsasi ataupun mengeliminasi bahan pencemaran sehingga perubahan kualitas negatif dapat dicegah. Dalam hal inilah perlunya batasan-batasan konsentrasi yang disebut dengan standar kualitas limbah.

Pada jangka waktu yang cukup jauh akan timbul kesulitan menetapkan perubahan kualitas karena periode waktu yang demikian jauh. Dengan konsentrasi limbah tertentu, tidak terjadi perubahan kualitas lingkungan. Artinya perubahan kualitas lingkungan tidak muncul dalam waktu relatif pendek bila hanya berdasarkan standar kualitas limbah. Perubahan hanya dapat dipantau pada masa-masa 20 atau 25 tahun yang akan datang. Dengan demikian maka standar kualitas lingkungan perlu ditetapkan sebagai bagian dari penetapan kualitas limbah. Sebagai air limbah diukur dengan parameter standar kualitas limbah dan sebagai badan penerima diukur dengan standar kualitas lingkungan.

Di bawah ini diuraikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas limbah.

- **Volume Air**
Kualitas limbah ditentukan dari banyaknya parameter dalam limbah dan konsentrasi setiap parameter. Semakin banyak volume air yang bercampur dengan limbah semakin kecil konsentrasi pencemar. Badan penerima yang menerima limbah sering tidak mendapat pengaruh.
- **Kualitas Air**
Kualitas air badan penerima mengandung bahan/senyawa tertentu sebelum menerima buangan. Kualitas tersebut menetapkan arah penggunaan air. Adanya bahan pencemar yang sama, tidak akan mempengaruhi konsentrasi bahan dalam air penerima. Tetapi bila konsentrasi bahan pencemar dalam limbah lebih besar dari konsentrasi bahan pencemar dalam badan penerima (kemungkinan juga tidak ada), maka konsentrasi bahan pencemar setelah bercampur akan menjadi lebih kecil. Sejauh mana konsentrasi tersebut dapat ditoleransi sesuai dengan standar kualitas lingkungan agar kualitas lingkungan tidak mengalami perubahan sebagai yang telah distandarkan.
- **Kegunaan Air**
Air dibutuhkan untuk bermacam-macam keperluan. Kualitas air untuk keperluan minum berbeda dengan untuk keperluan industri.
- **Kepadatan Penduduk**
Kepadatan penduduk dalam suatu lokasi tertentu turut mempengaruhi tingkat pencemaran lingkungan. Hal ini dikaitkan dengan tingkat kesadaran penduduk dalam memelihara lingkungan yang sehat dan bersih.
Buangan air rumah tangga, padatan berupa sampah yang dibuang ke sungai, air cucian kamar mandi maupun buangan tinja akan mempengaruhi tingkat kandungan BOD, COD dan bakteri coli dalam air sungai. Semakin padat penduduk suatu lingkungan semakin banyak limbah yang harus dikendalikan.
- **Lingkungan**
Lingkungan seperti hutan, perkebunan, peternakan, alam yang

luas mempengaruhi kondisi badan penerima. Dalam keadaan tertentu badan-badan pencemar akan ternetralisasi secara alamiah. Lintasan air sungai yang panjang dengan turbulensi yang keras akan mempengaruhi tingkat penyerapan oksigen ke dalam air. Adanya sinar matahari yang langsung masuk dalam badan penerima terjadi fotosintesa hingga sejumlah bakteri tertentu akan terancam. Adanya tumbuhan tertentu dalam badan penerima akan menetralkan senyawa pencemar sebab sesuai dengan kondisi pertumbuhan.

Phosphat dalam air buangan menyuburkan tumbuh-tumbuhan tertentu, tapi tumbuhan itu sendiri akan merusak lingkungan.

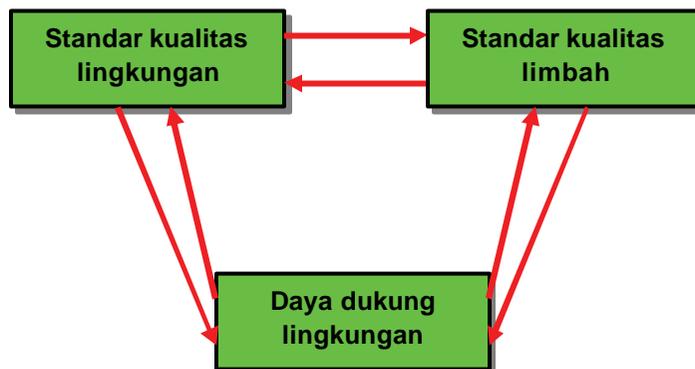
- Volume Air Limbah

Seluruh air dalam pabrik pada umumnya ditampung dalam saluran-saluran untuk kemudian disatukan dalam saluran yang lebih besar. Banyak saluran dan volume saluran disesuaikan dengan keadaan pabrik dan jumlah air yang akan dibuang. Volume air limbah akan menentukan konsentrasi bahan pencemar. Bahan pencemar dari suatu pabrik tergantung kepada banyaknya bahan-bahan yang terbuang. Dengan asumsi bahwa semua terkendali dengan baik. Pengendalian hanya terbatas pada bahan pencemar yang tidak dapat dihindari, maka konsentrasi bahan pencemaran telah dapat diperkirakan jumlahnya. Penambahan volume air hanya menyebabkan konsentrasi turun. Dengan perkataan lain bahwa akibat pengenceran otomatis menyebabkan konsentrasi turun.

- Frekuensi Pembuangan Limbah

Limbah dari suatu pabrik ada kalanya tidak tetap volumenya. Untuk beberapa pabrik tertentu limbah airnya mengalir dalam jumlah yang sama setiap hari, tetapi ada lain yang mengalirkan limbah pada jam-jam (waktu) tertentu bahkan pada satu minggu atau satu bulan. Bercampurnya limbah air pada jumlah yang berbeda-beda mengakibatkan konsentrasi bahan pencemar pada badan penerima bervariasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa standar kualitas lingkungan juga mengalami perubahan sesuai dengan limbah yang diterima.

Dari uraian di atas, kualitas limbah dapat diukur pada dua tempat yaitu, pada titik sebelum dan sesudah bercampur dengan badan penerima. Penetapan kualitas limbah ini perlu mendapat penegasan karena beberapa hal yang mendasari yaitu: bila limbah tidak dibuang ke tempat umum dibuatkan tempat tersendiri dan tidak bercampur dengan badan penerima. Biasanya hal seperti ini terjadi untuk limbah air.



Gambar 7.20. Hubungan ketergantungan standar kualitas lingkungan, limbah dan daya dukung.

7.2. Jenis Limbah Industri

Limbah berdasarkan nilai ekonominya dirinci menjadi limbah yang mempunyai nilai ekonomis dan limbah nonekonomis. Limbah yang mempunyai nilai ekonomis yaitu limbah dengan proses lanjut akan memberikan nilai tambah. Misalnya: tetes merupakan limbah pabrik gula. Tetes menjadi bahan baku untuk pabrik alkohol. Ampas tebu dapat dijadikan bahan baku untuk pabrik kertas, sebab ampas tebu melalui proses sulfinasi dapat menghasilkan bubur *pulp*. Banyak lagi limbah pabrik tertentu yang dapat diolah untuk menghasilkan produk baru dan menciptakan nilai tambah.

Limbah nonekonomis adalah limbah yang diolah dalam proses bentuk apapun tidak akan memberikan nilai tambah, kecuali mempermudah sistem pembuangan. Limbah jenis ini yang sering menjadi persoalan pencemaran dan merusakkan lingkungan; Dilihat dari sumber limbah dapat merupakan hasil sampingan dan juga dapat merupakan semacam "katalisator". Karena sesuatu bahan membutuhkan air pada permulaan proses, sedangkan pada akhir proses air ini harus dibuang

lagi yang ternyata telah mengandung sejumlah zat berbahaya dan beracun. Di samping itu ada pula sejumlah air terkandung dalam bahan baku harus dikeluarkan bersama buangan lain. Ada limbah yang terkandung dalam bahan dan harus dibuang setelah proses produksi. Tapi ada pula pabrik menghasilkan limbah karena penambahan bahan penolong.

Sesuai dengan sifatnya, limbah digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu: limbah cair, limbah gas/asap dan limbah padat. Ada industri tertentu menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang sukar dibedakan. Ada beberapa hal yang sering keliru mengidentifikasi limbah cair, yaitu buangan air yang berasal dari pendinginan. Sebuah pabrik membutuhkan air untuk pendinginan mesin, lalu memanfaatkan air sungai yang sudah tercemar disebabkan oleh sektor lain. Karena kebutuhan air hanya untuk pendinginan dan tidak untuk lain-lain, tidaklah tepat bila air yang sudah tercemar itu dikatakan bersumber dari pabrik tersebut. Pabrik hanya menggunakan air yang sudah air yang sudah tercemar pabrik harus selalu dilakukan pada berbagai tempat dengan waktu berbeda agar sampel yang diteliti benar-benar menunjukkan keadaan sebenarnya.

Limbah gas/asap adalah limbah yang memanfaatkan udara sebagai media. Pabrik mengeluarkan gas, asap, partikel, debu melalui udara, dibantu angin memberikan jangkauan pencemaran yang cukup luas. Gas, asap dan lain-lain berakumulasi/bercampur dengan udara basah mengakibatkan partikel tambah berat dan malam hari turun bersama embun.

Limbah padat adalah limbah yang sesuai dengan sifat benda padat merupakan sampingan hasil proses produksi. Pada beberapa industri tertentu limbah ini sering menjadi masalah baru sebab untuk proses pembuangannya membutuhkan satu pabrik pula. Limbah penduduk kota menjadikan kota menghadapi problema kebersihan. Kadang-kadang bukan hanya sistem pengolahannya menjadi persoalan tapi bermakna, dibuang setelah diolah.

Menurut sifat dan bawaan limbah mempunyai karakteristik baik fisika, kimia maupun biologi. Limbah air memiliki ketiga karakteristik ini, sedangkan limbah gas yang sering dinilai berdasarkan satu karakteristik saja seperti halnya limbah padat. Berbeda dengan limbah padat yang menjadi penilaian adalah karakteristik fisiknya, sedangkan karakteristik

kimia dan biologi mendapat penilaian dari sudut akibat. Limbah padat dilihat dari akibat kualitatif sedangkan limbah air dan limbah gas dilihat dari sudut kualitatif maupun kuantitatif.

Sifat setiap jenis limbah tergantung dari sumber limbah. Uraian di bawah ini menjelaskan karakteristik masing-masing limbah.

7.2.1. Limbah Cair

Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam sistem prosesnya. Di samping itu ada pula bahan baku mengandung air sehingga dalam proses pengolahannya air harus dibuang. Air terikut dalam proses pengolahan kemudian dibuang misalnya ketika dipergunakan untuk pencuci suatu bahan sebelum diproses lanjut. Air ditambah bahan kimia tertentu kemudian di-proses dan setelah itu dibuang. Semua jenis perlakuan ini mengakibatkan buangan air.

Pada beberapa pabrik tertentu - misalnya pabrik pengolahan kawat, seng, besi baja - sebagian besar air dipergunakan untuk pendinginan mesin ataupun dapur pengecoran. Air ini dipompa dari sumbernya lalu dilewatkan pada bagian-bagian yang membutuhkan pendinginan, kemudian dibuang. Oleh sebab itu pada saluran pabrik terlihat air mengalir dalam volume yang cukup besar.

Air ketel akan dibuang pada waktu-waktu tertentu setelah melalui pemeriksaan laboratorium, sebab air ini tidak memenuhi syarat lagi sebagai air ketel dan karenanya harus dibuang. Bersamaan dengan itu dibutuhkan pula sejumlah air untuk mencuci bagian dalam ketel. Air pencuci ini juga harus dibuang.

Pencucian lantai pabrik setiap hari untuk beberapa pabrik tertentu membutuhkan air dalam jumlah banyak. Pabrik pengalengan ikan membutuhkan air pencuci dalam jumlah yang relatif harus banyak. Jumlah air terus menerus diperlukan mencuci peralatan, lantai dan lain-lain. Karat perlu dicuci sebelum masuk pencincangan dan pada saat dicincang air terus-menerus mengalir untuk menghilangkan pasir abu yang terbawa.

Air dari pabrik membawa sejumlah padatan dan partikel baik yang larut maupun mengendap. Bahan ini ada yang kasar dan halus. Kerap kali air dari pabrik berwarna keruh dan temperaturnya tinggi.

Air yang mengandung senyawa kimia beracun dan berbahaya mempunyai sifat tersendiri. Air limbah yang telah tercemar memberikan

ciri yang dapat diidentifikasi secara visual dapat diketahui dari kekeruhan, warna air, rasa, bau yang ditimbulkan dan indikasi lainnya. Sedangkan identifikasi secara laboratorium, ditandai dengan perubahan sifat kimia air di mana air telah mengandung bahan kimia yang beracun dan berbahaya dalam konsentrasi yang melebihi batas dianjurkan.

Jenis industri menghasilkan limbah cair di antaranya adalah industri-industri *pulp* dan rayon, pengolahan *crumb rubber*, minyak kelapa sawit, baja dan besi, minyak goreng, kertas, tekstil, kaustiksoda, elektro plating, plywood, tepung tapioka, pengalengan, pencelupan dan pewarnaan, daging dan lain-lain. Jumlah limbah yang dikeluarkan masing-masing industri ini tergantung pada banyak produksi yang dihasilkan, serta jenis produksi. Industri pulp dan rayon menghasilkan limbah air sebanyak 30 m³ setiap ton *pulp* yang diproduksi. Untuk industri ikan dan makanan laut limbah air berkisar antara 79 m³ sampai dengan 500 m³ per hari; industri pengolahan *crumb rubber* limbah air antara 100 m³ s/d 2000 m³ per hari, industri pengolahan kelapa sawit mempunyai limbah air: rata-rata 120 m³ per hari skala menengah.

A. Sifat Air

Untuk memperoleh air dalam keadaan murni, sangat sulit kecuali setelah melalui proses pengolahan. Sebagaimana sudah dijelaskan di depan, air dikelompokkan menjadi 5 bagian dan yang kita bahas di sini adalah air dalam kaitannya dengan limbah industri.

Lingkungan penerima dikelompokkan menjadi berbagai kelompok sesuai dengan fungsi dan peranan air. Fungsi dan peranannya sebagai sarana pembuangan limbah keadaannya tidak menjadi sulit bila limbah dapat langsung dibuang. Tetapi lain halnya bila air digunakan untuk pengairan sawah atau ternak udang, maka limbah air itu harus memenuhi persyaratan untuk ikan, udang dan tanaman padi.

Dalam air buangan ditemukan senyawa yang dapat diidentifikasi melalui visual maupun laboratorium. Warna air, rasa, bau, kekeruhan dapat dikenal melalui cara umum dengan mata dan indera biasa, sedangkan senyawa kimia seperti kandungan fenol, kandungan oksigen, besi dan lain-lain harus dilakukan melalui penelitian laboratorium.

Pada umumnya persenyawaan yang sering dijumpai dalam air antarif lain: padatan terlarut, padatan tersuspensi, padatan tidak larut, mikroorganisme dan kimia organik.

Berdasarkan persenyawaan yang ditemukan dalam air buangan maka sifat air dirinci menjadi karakteristik fisika, kimia dan biologi. Padatan terlarut yang banyak dijumpai dalam air adalah golongan senyawaan alkalinitas seperti karbonat, bikarbonat dan hidroksida. Di samping itu terdapat pula unsur kimia anorganik ditemukan dalam air yang mempengaruhi kualitas air.

Pengamatan unsur fisika, kimia dan biologi terhadap air sangat penting untuk menetapkan jenis parameter pencemar yang terdapat di dalamnya. Kondisi alkalinitas ini menghasilkan dua macam sifat air yaitu sifat basa dan sifat asam. Air cenderung menjadi asam bila pH lebih kecil 7 sedangkan pH lebih besar 7 menunjukkan air cenderung bersifat basa.

Dalam pengolahan air bahan alkalinitas akan bereaksi dengan koagulan yang memungkinkan lumpur cepat mengendap. Selain itu ada sifat air yang lain, yaitu kesadahan. Penyebab kesadahan adalah karena air mengandung magnesium, kalium, strontium dan barium. Garam-garam ini terdapat dalam bentuk karbonat, sulfat, chlorida, nitrat, fospat, dan lain-lain. Air yang mempunyai kesadahan tinggi membuat air sukar berbuih dan sulit dipergunakan untuk pencucian.

Gas yang larut dalam air seperti CO_2 , oksigen, nitrogen, hidrogen dan methane, sering dijumpai menyebabkan bersifat asam, berbau dan korosif. Sulfida menyebabkan air berwarna hitam dan berbau.

Padatan tidak larut adalah senyawa kimia yang terdapat dalam air baik dalam keadaan melayang, terapung maupun mengendap. Senyawa-senyawa ini dijumpai dalam bentuk organik maupun anorganik.

Padatan tidak larut menyebabkan air berwarna keruh. Sebagaimana padatan dan gas yang larut, mikroorganisme juga banyak dijumpai dalam air. Mikroorganisme sangat membahayakan bagi pemakai air. Air minum harus bebas dari bakteri pathogen. Air untuk pendingin harus bebas dari besi dan

mangan. Tabel 2 menggambarkan hubungan antara karakteristik dan sumber-sumber.

Sifat kimia dan fisika masing-masing parameter menunjukkan akibat yang ditimbulkan terhadap lingkungan? Ditinjau dari sifat air maka karakteristik air yang tercemar dapat dirinci menjadi: Sifat perubahan secara fisik, kimia dan biologi.

B. Karakteristik Fisika

Perubahan yang ditimbulkan parameter fisika dalam air limbah yaitu: padatan, kekeruhan, bau, temperatur, daya hantar listrik dan warna.

Padatan terdiri dari bahan padat organik maupun anorganik yang larut, mengendap maupun suspensi. Bahan ini akan mengendap pada dasar air yang lama kelamaan menimbulkan pendangkalan pada dasar badan penerima. Akibat lain dari padatan ini menimbulkan tumbuhnya tanaman air tertentu dan dapat menjadi racun bagi makhluk lain. Banyak padatan menunjukkan banyaknya lumpur terkandung dalam air.

Kekeruhan menunjukkan sifat optis air yang menyebabkan pembiasan cahaya ke dalam air. Kekeruhan membatasi pencahayaan ke dalam air. Sekalipun ada pengaruh padatan terlarut atau partikel yang melayang dalam air namun penyerapan cahaya ini dipengaruhi juga bentuk dan ukurannya. Kekeruhan ini terjadi karena adanya bahan yang terapung dan terurainya zat tertentu seperti bahan organik, jasad renik, lumpur tanah liat dan benda lain yang melayang ataupun terapung dan sangat halus sekali.

Nilai kekeruhan air dikonversikan ke dalam ukuran SiO_2 dalam satuan mg/l. Semakin keruh air semakin tinggi daya hantar listrik dan semakin banyak pula padatannya.

Tabel 7.5. Hubungan antara sumber limbah dan karakteristik

Karakteristik	Sumber limbah
Fisika:	
Warna	Bahan organik buangan industri dan domestik.
B a u	Penguraian limbah dan buangan industri.
Padatan	Sumber air, buangan industri dan domestik.
Temperatur	Buangan domestik dan industri.
Kimia:	
Organik	
Karbohidrat	Buangan industri, perdagangan dan domestik.
Minyak dan lemak	Buangan industri, perdagangan dan domestik.
Pestisida	Buangan hasil pertanian.
Fenol	Buangan industri.
Anorganik	
Alkali	Sumber air, buangan domestik, infiltrasi air tanah, buangan air ketel.
Cholorida	Sumber air, buangan domestik, pelemakan air.
Logam berat	Buangan industri.
Nitrogen	Limbah pertanian dan domestik.
pH	Limbah industri.
Phospor	Limbah industri, domestik dan alamiah.
Sulfur	Limbah industri, domestik.
Bahan beracun	Perdagangan, limbah industri.
Biologi :	
Virus	Limbah domestik.

Bau timbul karena adanya kegiatan mikroorganik yang menguraikan zat organik menghasilkan gas tertentu. Di samping itu bau juga timbul karena terjadinya reaksi kimia yang menimbulkan gas. Kuat tidaknya bau yang dihasilkan limbah tergantung pada jenis dan banyak gas yang ditimbulkan.

Temperatur air limbah mempengaruhi badan penerima bila terdapat perbedaan suhu yang cukup besar. Temperatur air limbah akan mempengaruhi kecepatan reaksi kimia serta tata kehidupan dalam air. Perubahan suhu memperlihatkan aktivitas kimiawi biologis pada benda padat dan gas dalam air. Pembusukan terjadi pada suhu yang tinggi dan tingkatan oksidasi zat organik jauh lebih besar pada suhu yang tinggi.

Daya hantar listrik adalah kemampuan air untuk mengalirkan arus listrik dan kemampuan tercermin dari kadar padatan total dalam air dan suhu pada saat pengukuran. Konduktivitas arus listrik mengalirkan arusnya tergantung pada mobilitas ion dan kadar yang terlarut. Senyawa anorganik merupakan konduktor kuat dibandingkan dengan senyawa organik. Pengukuran daya hantar listrik ini untuk melihat keseimbangan kimiawi dalam air dan pengaruhnya terhadap kehidupan biota.

Warna timbul akibat suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air, di samping adanya bahan pewarna tertentu yang kemungkinan mengandung logam berat. Bau disebabkan karena adanya campuran dari nitrogen, fosfor, protein, sulfur, amoniak, hidrogen sulfida, carbon disulfida dan zat organik lain. Kecuali bau yang disebabkan bahan beracun, jarang merusak kecepatan manusia tapi mengganggu ketenangan bekerja.

C. Karakteristik Kimia

Bahan kimia yang terdapat dalam air akan menentukan sifat air baik dalam tingkat keracunan maupun bahaya yang ditimbulkan. Semakin besar konsentrasi bahan pencemar dalam air semakin terbatas penggunaan air. Karakteristik kimia terdiri dari kimia anorganik dan kimia organik. Secara umum sifat air ini dipengaruhi oleh kedua macam kandungan bahan kimia tersebut.

- **Keasaman Air**

Keasaman air diukur dengan pH meter. Keasaman ditetapkan berdasarkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Air buangan yang mempunyai pH tinggi atau rendah menjadikan air steril dan sebagai akibatnya membunuh mikroorganisme air yang diperlukan. Demikian juga makhluk lain, misalnya ikan tidak dapat hidup. Air yang mempunyai pH rendah membuat air menjadi korosif terhadap bahan konstruksi seperti besi.

Buangan yang bersifat alkalis (basa) bersumber dari buangan mengandung bahan anorganik seperti senyawa karbonat, bikarbonat dan hidoksida. Buangan asam berasal dari bahan kimia yang bersifat asam, misalnya buangan mengandung

asam klorida, asam sulfat dan lain-lain.

- Alkalinitas

Tinggi rendahnya alkalinitas air ditentukan senyawa karbonat, bikarbonat, garam hidroksida, kalium, magnesium dan natrium dalam air. Semakin tinggi kesadahan suatu air semakin sulit air membuih. Penggunaan air untuk ketel selalu diupayakan air yang mempunyai kesadahan rendah karena zat tersebut dalam konsentrasi tinggi menimbulkan terjadinya kerak pada dinding dalam ketel maupun pada pipa pendingin.

Oleh sebab itu untuk menurunkan kesadahan air dilakukan pelunakan air. Pengukuran alkalinitas air adalah pengukuran kandungan ion CaCO_3 , ion Ca, ion Mg, bikarbonat, karbonat dan lain-lain.

- Besi dan Mangan

Besi dan mangan yang teroksida dalam air berwarna kecoklatan dan tidak larut, menyebabkan penggunaan air menjadi terbatas. Air tidak dapat dipergunakan untuk keperluan rumah tangga dan industri. Kedua macam bahan ini berasal dari larutan batu-batuan yang mengandung senyawa Fe atau Mn seperti pyrit, kematit, mangan dan lain-lain. Dalam limbah industri, besi berasal dari korosi pipa-pipa air, material logam sebagai hasil reaksi elektro kimia yang terjadi pada permukaan. Air yang mengandung padatan larut mempunyai sifat mengantarkan listrik dan ini mempercepat terjadinya korosi.

- Chlorida

Chlorida banyak dijumpai dalam pabrik industri kaustik soda. Bahan ini berasal dari proses elektrolisa, penjernihan garam dan lain-lain. Chlorida merupakan zat terlarut dan tidak menyerap. Sebagai Chlor bebas berfungsi desinfektans, tapi dalam bentuk ion yang bersenyawa dengan ion natrium menyebabkan air menjadi asin dan merusak pipa-pipa instalasi.

- Phosphat

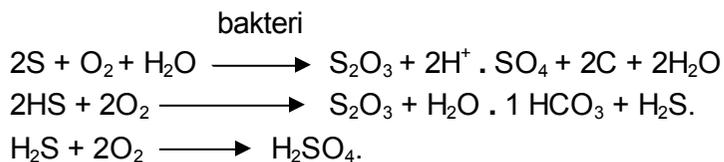
Kandungan phosphat yang tinggi menyebabkan suburnya

algae dan organisme lainnya. Fosfat kebanyakan berasal dari bahan pembersih yang mengandung senyawa fosfat. Dalam industri kegunaan fosfat terdapat pada ketel uap untuk mencegah kesadahan. Maka pada saat penggantian air ketel, buangan ketel ini menjadi sumber fosfat.

Pengukuran kandungan fosfat dalam air limbah berfungsi untuk mencegah tingginya kadar fosfat sehingga tidak merangsang pertumbuhan tumbuh-tumbuhan dalam air. Sebab pertumbuhan subur akan menghalangi kelancaran arus air. Pada danau suburnya tumbuh-tumbuhan airakan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dan kesuburan tanaman lainnya.

- Sulfur

Sulfat dalam jumlah besar akan menaikkan keasaman air. Ion sulfat dapat terjadi secara proses alamiah. Sulfur dioksida dibutuhkan pada sintesa. Pada industri kaustik soda ion sulfat terdapat sewaktu pemurnian garam. Ion sulfat oleh bakteri direduksi menjadi sulfida pada kondisi anaerob dan selanjutnya sulfida diubah menjadi hidrogen sulfida. Dalam suasana aerob hidrogen sulfida teroksidasi secara bakteriologis menjadi sulfat. Dalam bentuk H_2S bersifat racun dan berbau busuk. Pada proses digester lumpur gas H_2S yang bercampur dengan metan CH_4 dan CO_2 akan bersifat korosif. H_2S akan menghitamkan air dan lumpur yang bila terikat dengan senyawa besi membentuk $Fe_2 S$.



- Nitrogen

Nitrogen dalam air limbah pada umumnya terdapat dalam bentuk organik dan oleh bakteri berubah menjadi amonia. Dalam kondisi aerobik dan dalam waktu tertentu bakteri dapat mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Nitrat dapat digunakan oleh algae dan tumbuh-tumbuhan lain untuk

membentuk protein tanaman dan oleh hewan untuk membentuk protein hewan. Perusakan protein tanaman dan hewan oleh bakteri menghasilkan amonia.

Nitrit menunjukkan jumlah zat nitrogen yang teroksidasi. Nitrit merupakan hasil reaksi dan menjadi amoniak ataudioksidasi menjadi nitrit. Kehadiran nitrogen ini sering sekali dijumpai sebagai nitrogen nitrit.

- Logam Berat dan Beracun

Logam berat pada umumnya seperti cuprum (tembaga), perak, seng, cadmium, air raksa, timah, chromium, besi dan nikel. Metal lain yang juga termasuk metal berat adalah arsen, selenium, cobalt, mangan dan aluminium.

Cadmium ditemukan dalam buangan industri tekstil, elektro plating, pabrik kimia. Chromium dijumpai dalam 2 bentuk yaitu chrom valensi enam dan chrom valensi tiga. Chrom valensi enam ditemukan pada buangan pabrik aluminium dan cat, sedang chrom trivalen ditemukan pada pabrik tekstil, industri gelas dan keramik.

Plumbum terdapat dalam buangan pabrik baterai, pencelupan dolt cat. Logam ini dalam konsentrasi tertentu membahayakan bagi manusia.

- Fenol

Istilah fenol dalam air limbah tidak hanya terbatas pada fenol ($C_6H_5 - OH$) tapi bermacam-macam campuran organik yang terdiri dari satu atau lebih gugusan hidroxil. Fenol yang dengan konsentrasi 0,005/liter dalam air minum menciptakan rasa dan bau apabila bereaksi dengan chlor membentuk chlorophenol.

Sumber fenol terdapat pada industri pengolahan minyak, batu-bara, pabrik kimia, pabrik resin, pabrik kertas, tekstil.

- Biochemical Oxigen Demand (BOD)

Dalam air buangan terdapat zat organik yang terdiri, dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen dengan unsur tambahan yang lain seperti nitrogen, belerang dan lain-lain yang cenderung menyerap oksigen. Oksigen tersebut dipergunakan untuk menguraikan senyawa organik. Pada akhirnya kadar oksigen

dalam air buangan menjadi keruh dan kemungkinan berbau. Pengukuran terhadap nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) adalah kebutuhan oksigen yang terlarut dalam air buangan yang dipergunakan untuk menguraikan senyawa organik dengan bantuan mikroorganisme pada kondisi tertentu. Pada umumnya proses penguraian terjadi secara baik yaitu pada temperatur 20°C dan waktu 5 hari. Oleh karena itu satuannya biasanya dinyatakan dalam mg perliter atau kg.

- **Chemical Oxygen Demand (COD)**
Bentuk lain untuk mengukur kebutuhan oksigen ini adalah COD. Pengukuran ini diperlukan untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap zat organik yang sukar dihancurkan secara oksidasi. Oleh karena itu dibutuhkan bantuan pereaksi oksidator yang kuat dalam suasana asam. Nilai BOD selalu lebih kecil daripada nilai COD diukur pada senyawa organik yang dapat diuraikan maupun senyawa organik yang tidak dapat berurai.
- **Lemak dan Minyak**
Lemak dan minyak ditemukan mengapung di atas permukaan air meskipun sebagian terdapat di bawah permukaan air. Lemak dan minyak merupakan senyawa ester dari turunan alkohol yang tersusun dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Lemak sukar diuraikan bakteri tapi dapat dihidrolisa oleh alkali sehingga membentuk senyawa sabun yang mudah larut. Minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi dipakai dalam pabrik dan terbawa air cucian ketika dibersihkan. Sebagai alat pencuci Bering Pula digunakan minyak pelarut. Adanya minyak dan lemak di atas permukaan air merintangi proses biologi dalam air sehingga tidak terjadi fotosintesa.
- **Karbohidrat dan Protein**
Karbohidrat dalam air buangan diperoleh dalam bentuk sellulosa, kanji, tepung dextrin yang terdiri dari senyawa karbon, hidrogen dan oksigen, baik terlarut maupun tidak larut. Pada protein yang berasal dari bulu binatang seperti sutra dengan unsur persenyawaan yang cukup kompleks

mengandung unsur nitrogen. Baik protein maupun karbohidrat mudah rusak oleh mikroorganisme dan bakteri.

- **Zat Warna dan Surfaktan**
Timbulnya dalam air buangan adalah karena adanya senyawa organik yang larut dalam air. Zat aktif permukaan ini (surfaktan) sangat sukar berurai oleh aktivitas mikroorganisme. Demikian juga zat warna yang merupakan senyawa aromatik sukar berurai. Di antara zat warna ini ada yang mengandung logam berat seperti chrom atau tembaga.

7.3. Limbah Gas dan Partikel

Udara adalah media pencemar untuk limbah gas. Limbah gas atau asap yang diproduksi pabrik keluar bersamaan dengan udara. Secara alamiah udara mengandung unsur kimia seperti O_2 , N_2 , NO_2 , CO_2 , H_2 dan lain-lain. Penambahan gas ke dalam udara melampaui kandungan alami akibat kegiatan manusia akan menurunkan kualitas udara.

Zat pencemar melalui udara diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu partikel dan gas. Partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat dengan mata telanjang seperti uap air, debu, asap, kabut dan fume. Sedangkan pencemaran berbentuk gas tanya aapat dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) ataupun akibat langsung. Gas-gas ini antara lain SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , hidrokarbon dan lain-lain.

Untuk beberapa bahan tertentu zat pencemar ini berbentuk padat dan cair. Karena suatu kondisi temperatur ataupun tekanan tertentu bahan padat/cair itu dapat berubah menjadi gas. Baik partikel maupun gas membawa akibat terutama bagi kesehatan manusia seperti debu batubara, asbes, semen, belerang, asap pembakaran, uap air, gas sulfida, uap amoniak, dan lain-lain.

Pencemaran yang ditimbulkannya tergantung pada jenis limbah, volume yang lepas di udara bebas dan lamanya berada dalam udara. Jangkauan pencemaran melalui udara dapat berakibat luas karena faktor cuaca dan iklim turut mempengaruhi.

Pada malam hari zat yang berada dalam udara turun kembali ke bumi bersamaan dengan embun. Adanya partikel kecil secara

terus menerus jatuh di atap rumah, di permukaan daun pada pagi hari menunjukkan udara mengandung partikel. Kadang-kadang terjadi hujan asam.

Arah angin mempengaruhi daerah pencemaran karena sifat gas dan partikel yang ringan mudah terbawa. Kenaikan konsentrasi partikel dan gas dalam udara di beberapa kota besar dan daerah industri banyak menimbulkan pengaruh, misalnya gangguan jarak pandang oleh asap kendaraan bermotor, gangguan pernafasan dan timbulnya beberapa jenis penyakit tertentu.

Jenis industri yang menjadi sumber pencemaran melalui udara di antaranya:

- industri besi dan baja
- industri semen
- industri kendaraan bermotor
- industri pupuk
- industri aluminium
- industri pembangkit tenaga listrik
- industri kertas
- industri kilang minyak
- industri pertambangan

Jenis industri semacam ini akumulasinya di udara dipengaruhi arah angin, tetapi karena sumbernya bersifat stationer maka lingkungan sekitar menerima resiko yang sangat tinggi dampak pencemaran.

Berdasarkan ini maka konsentrasi bahan pencemar dalam udara perlu ditetapkan sehingga tidak menimbulkan gangguan terhadap manusia dan makhluk lain sekitarnya.

Jenis industri yang menghasilkan partikel dan gas adalah sebagai tertera dalam tabel 6..

Tabel 7.6. Jenis industri dan limbahnya

No	Jenis Industri	Jenis Limbah
1.	Industri pupuk	Uap asam, NH ₃ , bau, partikel
2.	Pabrik pangan (ikan, daging, minyak makan, bagase, bir	Hidrokarbon, bau, partikel, CO, H ₂ S dan uap asam.
3.	Industri pertambangan (mineral) semen, aspal, kapur, batu bara, karbida, serat gelas.	NO _x , SO _x , CO, HK, bau, partikel.
4.	Industri metalurgi (tembaga, baja-seng, timah hitam, aluminium)	No _x , SO, CO, HK, H ₂ S, chlor, bau dan partikel.
5.	Industri kimia (sulfat, serat rayon PVC, amonia, cat dan lain- lain	HK, CO, NH ₃ , bau dan partikel.
6.	Industri <i>pulp</i> .	SO _x CO, NH ₃ , H ₂ S, bau.

7.3.1. Karakteristik Limbah Gas dan Partikel

Pada umumnya limbah gas dari pabrik bersumber dari penggunaan bahan baku, proses, dan hasil serta sisa pembakaran. Pada saat pengolahan pendahuluan, limbah gas maupun partikel timbul karena perlakuan bahan-bahan sebelum diproses lanjut. Limbah yang terjadi disebabkan berbagai hal antara lain; karena reaksi kimia, kebocoran gas, hancuran bahan-bahan dan lain-lain.

Pada waktu proses pengolahan, gas juga timbul sebagai akibat reaksi kimia maupun fisika. Adakalanya limbah yang terjadi sulit dihindari sehingga harus dilepaskan ke udara. Namun dengan adanya kemajuan teknologi, setiap gas yang timbul pada rangkaian proses telah dapat diupayakan pengendaliannya.

Sebagian besar gas maupun partikel terjadi pada ruang pembakaran, sebagai sisa yang tidak dapat dihindarkan dan karenanya harus dilepaskan melalui cerobong asap. Banyak jenis gas dan partikel gas lepas dari pabrik melalui cerobong asap ataupun penangkap debu harus ditekan sekecil mungkin dalam upaya mencegah kerusakan lingkungan.

Jenis gas yang bersifat racun antara lain SO₂, CO, NO., timah hitam, amoniak, asam sulfida dan hidrokarbon. Pencemaran yang terjadi dalam udara dapat merupakan reaksi antara dua atau lebih zat pencemar. Misalnya reaksi fotokimia, yaitu reaksi yang terjadi karena bantuan sinar ultra violet dari sinar matahari.

Kemudian reaksi oksidasi gas dengan partikel logam dengan udara sebagai katalisator.

Konsentrasi bahan pencemar dalam udara dipengaruhi berbagai macam faktor antara lain: volume bahan pencemar, sifat bahan, kondisi iklim dan cuaca, topografi.

- Oksida Nitrogen

Oksida nitrogen lazim dikenal dengan NO, bersumber dari instalasi pembakaran pabrik dan minyak bumi. Dalam udara, NO dioksidasi menjadi NO₂ dan bila bereaksi dengan hidrokarbon yang terdapat dalam udara akan membentuk asap. NO₂ akan berpengaruh terhadap tanam-tanaman dan sekaligus menghambat pertumbuhan.

Pabrik yang menghasilkan NO di antaranya adalah pabrik *pulp* dan rayon, aluminium, turbin gas, nitrat, bahan peledak, semen, gelas, batubara, timah hitam, song dan peleburan magnesium.

- Fluorida

Fluorida adalah racun bersifat kumulatif dan dapat berkembang di atmosfer karena amat reaktif. Dalam bentuk fluorine, zat ini tidak dihisap tanah tapi langsung masuk ke dalam daun-daun menyebabkan daun berwarna kuning-kecoklatan. Binatang yang memakan daun tersebut bisa menderita penyakit gigi rontok. Pabrik yang menjadi sumber fluor antara lain pabrik pengecoran aluminium pabrik pupuk, pembakaran batubara, pengecoran baja dan lainnya

- Sulfurdioksida

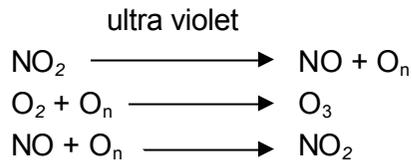
Gas SO₂ dapat merusak tanaman, sehingga daunnya menjadi kuning kecoklatan atau merah kecoklatan dan berbintik-bintik. Gas ini juga menyebabkan hujan asam, korosi pada permukaan logam dan merusak bahan nilon dan lain-lain.

Gas SO₂ menyebabkan terjadinya kabut dan mengganggu reaksi foto sintesa pada permukaan daun. Dengan air, gas SO₂ membentuk asam sulfat dan dalam udara tidak stabil. Sumber gas SO₂ adalah pabrik belerang, pengecoran biji logam, pabrik asam sulfat, pabrik semen, peleburan tembaga, timah hitam dan lain-lain. Dalam konsentrasi melebihi nilai ambang batas

dapat mematikan.

- Ozon

Ozon dengan rumus molekul O_3 disebut oksidan merupakan reaksi foto kimiawi antara NO_2 dengan hidrokarbon karena pengaruh ultra violet sinar matahari. Sifat ozon merusak daun tumbuh-tumbuhan, tekstil dan melunturkan warna. Reaksi pembentukan ozon sebagai berikut:



Peroksid asetil nitrat merupakan reaksi NO_2 dalam fotosintesa merusakkan tanaman.

- Amonia

Gas amonia dihasilkan pabrik pencelupan, eksplorasi minyak dan pupuk. Gas ini berbahaya bagi pemanfaatan dan baunya sangat merangsang. Pada konsentrasi 25% mudah meledak.

- Partikel

Partikel merupakan zat dispersi terdapat dalam atmosfer, berbagai larutan, mempunyai sifat fisis dan kimia.

Partikel dalam udara terdiri dari:

1. Asap, merupakan hasil dari suatu pembakaran.
2. Debu, partikel kecil dengan diameter 1 mikron.
3. Kabut, partikel cairan dengan garis tengah tertentu.
4. Aerosol, merupakan inti dari kondensasi uap.
5. *Fume*, merupakan hasil penguapan.

7.3.2. Bahan Lain yang Berbahaya dalam Pabrik

Di samping pada bahan pencemar yang lepas ke udara terdapat pula bahan tertentu yang tersimpan ataupun masih dalam proses di pabrik. Bahan ini karena sifat fisis dan kimianya cukup berbahaya bagi lingkungan apabila terlepas dengan sengaja ataupun tidak sengaja. Sifat racun suatu bahan belum tentu sama dengan sifat bahaya. Bahan yang bersifat racun

belum tentu menimbulkan/merupakan bahaya apabila bahan tersebut digunakan secara tepat. Sifat racun menunjukkan efek biologis atau kemampuan untuk melukai tubuh, sedang sifat bahaya menunjukkan kemungkinan kerugian. Bahan semacam ini banyak digunakan sebagai bahan penolong ataupun bahan utama pabrik kimia. Juga banyak diperoleh sebagai hasil jadi atau sampingan.

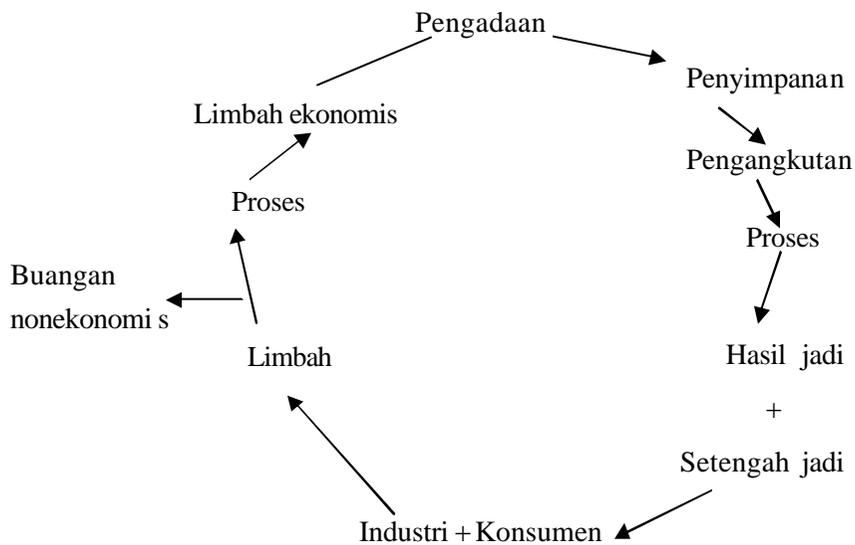
Tingkat bahaya yang ditimbulkan sebagai racun sangat membahayakan bagi manusia karena menimbulkan bermacam-macam gangguan seperti: merusakkan kulit, menyulitkan pernafasan, akut maupun kronis, bahkan dapat mematikan. Di samping itu mempunyai daya ledak, mudah terbakar, mudah menyala, sehingga pengelolaannya harus dilakukan dengan sangat berhati-hati.

Bensena, siklo hexanol, asam sulfat, amonium hidroksida, amonium sulfat, amonium nitrat, hidrogen karbon dioksida, belerang dioksida dan lain-lain yang terdiri dari 90 macam bahan, telah diklasifikasikan sebagai bahan racun dan berbahaya.

Masalah yang sering dijumpai dalam kaitannya dengan bahan tersebut ialah tentang penyimpanan, pengolahan, pengemasan dan transportasi. Oleh sebab itu pengawasan dan pengamanan terhadap bahan ini harus ditingkatkan dari waktu ke waktu menyangkut sifat fisis dan kimia. Besarnya resiko kerusakan lingkungan akibat bahan tersebut telah banyak terbukti seperti tragedi Chernobyl di Uni Soviet ataupun Bhopal di India. Kerusakan yang ditimbulkannya selain mengancam kehidupan manusia juga akan mengancam biota lainnya baik dalam jangka panjang maupun pendek.

Kehadiran bahan beracun dan berbahaya sebagai limbah seperti mata rantai yang tak berujung. Bila kita bertolak dari sudut pengadaan akan jelas bahwa kebutuhan bahan tersebut selalu harus terpenuhi. Pengadaan dilakukan dari pabrik (produksi) maupun import. Bahan ini dalam bentuknya sesuai dengan sifatnya harus tersimpan secara baik. Lokasi penyimpanan dan wadahnya juga harus memenuhi kriteria tertentu sesuai dengan klasifikasi yang ditetapkan.

Barang-barang tersebut bila hendak dipindahkan/diangkut untuk kebutuhan proses industri membutuhkan angkutan tersendiri, mungkin dibutuhkan desain khusus alat pengangkut sampai kepada proses, sehingga menjadi barang jadi atau setengah jadi untuk kemudian dikonsumsi oleh industri hilir atau konsumen langsung. Oleh pihak industri maupun konsumen untuk sebagian terbuang sebagai limbah. Sebagai limbah yang ekonomis dapat didaur ulang dan sebagai limbah nonekonomis akan dibuang melalui proses pengolahan.



Bila dilihat dalam mata rantai tersebut, setiap titik akan menimbulkan peluang untuk mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan. Kriteria beracun dan berbahaya akan memenuhi setiap mata rantai tersebut. Berbahaya dan beracun yang dimaksudkan karena dapat mematikan seketika atau pun beberapa lama, dapat secara biologis, dapat berakumulasi dalam lingkungan dan terakhir tidak bisa terdegradasi.

Ditinjau dari sudut pengawasan dan pengamanan bahan ini pengelolannya harus dilaksanakan mulai dari pengadaan sampai kepada distribusi. Mengingat seringnya terjadi kecelakaan yang ditimbulkan bahan beracun dan berbahaya maka setiap pengusaha dianjurkan untuk membuat label setiap jenis bahan tersebut. Label itu menunjukkan jenis bahan, sifat kimia maupun

fisiknya sehingga setiap orang dapat melihat dan membaca. Dari penjelasan dalam label mungkin juga terdapat beberapa usaha pencegahan andaikata terjadi hal-hal yang tidak sesuai menurut prosedur.

7.4. Limbah Padat

Limbah padat adalah hasil buangan industri berupa padatan, lumpur, bubur yang berasal dari sisa proses pengolahan. Limbah ini dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu limbah padat yaitu dapat didaur ulang, seperti plastik, tekstil, potongan logam dan kedua limbah padat yang tidak punya nilai ekonomis.

Bagi limbah padat yang tidak punya nilai ekonomis dapat ditangani dengan berbagai cara antara lain ditimbun pada suatu tempat, diolah kembali kemudian dibuang dan dibakar. Perlakuan limbah padat yang tidak punya nilai ekonomis sebagian besar dilakukan sebagai berikut:

1. Ditumpuk pada Areal Tertentu

Penimbunan limbah padat pada areal tertentu membutuhkan areal yang luas dan merusakkan pemandangan di sekeliling penimbunan. Penimbunan ini mengakibatkan pembusukan yang menimbulkan bau di sekitarnya, karena adanya reaksi kimia yang menghasilkan gas tertentu.

Dengan penimbunan, permukaan tanah menjadi rusak dan air yang meresap ke dalam tanah mengalami kontaminasi dengan bakteri tertentu yang mengakibatkan turunnya kualitas air tanah. Pada musim kemarau timbunan mengalami kekeringan dan ini mengundang bahaya kebakaran.

2. Pembakaran

Limbah padat yang dibakar menimbulkan asap, bau dan debu. Pembakaran ini menjadi sumber pencemaran melalui udara dengan timbulnya bahan pencemar baru seperti NO_x , hidrokarbon, karbon monoksida, bau, partikel dan sulfur dioksida.

3. Pembuangan

Pembuangan tanpa rencana sangat membahayakan

lingkungan. Di antara beberapa pabrik membuang limbah padatnya ke sungai karena diperkirakan larut ataupun membusuk dalam air. Ini adalah perkiraan yang keliru, sebab setiap pembuangan bahan padatan apakah namanya lumpur atau buburan, akan menambah *total solid* dalam air sungai.

Sumber limbah padat di antaranya adalah pabrik gula, *pulp* dan rayon, *plywood*, pengawetan buah, ikan dan daging dan lain-lain. Secara garis besar limbah padat dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Limbah padat yang mudah terbakar
2. Limbah padat yang sukar terbakar
3. Limbah padat yang mudah membusuk
4. Limbah berupa debu
5. Lumpur
6. Limbah yang dapat didaurulang
7. Limbah radio aktif
8. Limbah yang menimbulkan penyakit
9. Bongkaran bangunan

Berdasarkan klasifikasi limbah padat serta akibat-akibat yang ditimbulkannya sistem pengelolaan dilakukan menurut:

1. Limbah padat yang dapat ditimbun tanpa membahayakan.
2. Limbah padat yang dapat ditimbun tetapi berbahaya.
3. Limbah padat yang tidak dapat ditimbun.

Di dalam pengolahannya dilakukan melalui tiga cara yaitu pemisahan, penyusutan ukuran dan pengomposan. Dimaksud dengan pemisahan adalah pengambilan bahan tertentu kemudian diolah kembali sehingga mempunyai nilai ekonomis. Penyusutan ukuran bertujuan untuk memudahkan pengolahan limbah selanjutnya, misalnya pembakaran. Dengan ukuran lebih kecil akan lebih mudah membawa atau membakar pada tungku pembakaran. Jadi tujuannya adalah pengurangan volume maupun berat. Pengomposan adalah proses melalui biokimia yaitu zat organik dalam limbah dipecah sehingga menghasilkan humus yang berguna untuk memperbaiki struktur tanah. Banyak jenis limbah padat dari pabrik yang upaya pengelolaannya dilakukan menurut kriteria yang telah ditetapkan.

7.4.1. Dampak Pencemaran Terhadap Lingkungan

Pencemaran lingkungan berakibat terhadap kesehatan manusia, tata kehidupan, pertumbuhan flora dan fauna yang berada dalam jangkauan pencemaran. Gejala pencemaran dapat terlihat pada jangka waktu singkat maupun panjang, yaitu pada tingkah laku dan pertumbuhan. Pencemaran dalam waktu relatif singkat, terjadi seminggu sampai dengan setahun sedangkan pencemaran dalam jangka panjang terjadi setelah masa 20 tahun atau lebih. Gejala pencemaran yang terjadi dalam waktu singkat dapat diatasi dengan melihat sumber pencemaran lalu mengendalikannya.

Tanda-tanda pencemaran ini gampang terlihat pada komponen lingkungan yang terkena pencemaran. Berbeda halnya dengan pencemaran yang terjadi dalam waktu yang cukup lama. Bahan pencemar sedikit demi sedikit berakumulasi. Dampak pencemaran semula tidak begitu kelihatan. Namun setelah menjalani waktu yang relatif panjang dampak pencemaran kelihatan nyata dengan berbagai akibat yang ditimbulkan. Unsur-unsur lingkungan mengalami perubahan kehidupan habitat. Tanaman yang semula hidup cukup subur menjadi gersang dan digantikan dengan tanaman lain. Jenis binatang tertentu yang semula berkembang secara wajar beberapa tahun kemudian menjadi langka, karena mati atau mencari tempat lain. Kondisi kesehatan manusia juga menunjukkan perubahan; misalnya, timbul penyakit baru yang sebelumnya tidak ada.

Kondisi air, mikroorganisme, unsur hara dan nilai estetika mengalami perubahan yang cukup menyedihkan. Bahan pencemar yang terdapat dalam limbah industri ternyata telah memberikan dampak serius mengancam satu atau lebih unsur lingkungan: Jangkauan pencemar dalam jangka pendek maupun panjang tergantung pada sifat limbah, jenis, volume limbah, frekuensinya dan lamanya limbah berperan.

A. Bahan Beracun dan Berbahaya sebagai Pencemar Lingkungan

Bahan pencemar yang terkandung dalam limbah terdiri dari bahan beracun dan atau berbahaya. Beracun artinya dapat membunuh manusia atau makhluk lain bila takarannya melebihi ukuran yang disyaratkan. Sedangkan berbahaya masuk tubuh belum tentu beracun tapi juga dapat merusakkan tubuh. Parameter limbah menunjukkan daya racun dan berbahaya bila salah satu atau lebih

dari sifat berikut ini dipenuhi, yaitu:

1. Bahannya sendiri bersifat racun
2. Mudah terbakar dan menyala
3. Oksidator dan reduktor
4. Mudah meledak
5. Bahan peledak
6. Korosif
7. Iritatif
8. Radio aktif
9. Gas bertekanan
10. Membahayakan ekosistem

Ada beberapa bahan kimia yang sangat besar manfaatnya dan dipergunakan sehari-hari tapi mempunyai daya racun yang cukup tinggi, misalnya racun yang dipergunakan untuk membunuh tikus, serangga, nyamuk, dan racun lainnya sejenis pestisida. Sebagai bahan organik yang siap pakai senantiasa diberikan tanda-tanda peringatan ataupun catatan pada pembungkus/paching sehingga merupakan petunjuk bagi si pemakai.

Bahan yang mudah menyala dan terbakar disebabkan bereaksi dengan oksigen bila dekat dengan sumber panas pada suhu atau tekanan tertentu akan menimbulkan ledakan maupun api.

Misalnya amonia (NH_3) berbentuk gas tidak berwarna, baunya khas: Disimpan dalam keadaan cair pada tekanan 10 atmosfer. Titik leleh: -77°C dan titik didih: -33°C . Akan menyala sendiri pada suhu 629°C . Gas ini mempengaruhi kulit, pencernaan dan pernafasan. Meledak dari wadahnya bila terkena nyala api.

Terjadinya pencemaran karena perlakuan yang tidak semestinya terhadap bahan tersebut, mulai dari penanganan awal sampai kepada distribusi. Kontak dengan hawa panas, wadah terbuka, kebocoran dan tercecer menyebabkan bahan ini terbang dengan media pencemar udara ataupun air.

B. Jenis Pencemar

Berbagai jenis pencemar ditemukan dalam limbah ataupun bahan untuk keperluan rumah tangga. Bahan ini dapat ditemukan sebagai bahan kimia organik atau anorganik, di dalam limbah maupun

tidak. Daya pencemaran yang ditimbulkan selain dari sifat yang dimiliki juga tergantung pada volume. Tabel 6 adalah contoh bahan yang secara umum ditemukan baik sebagai bahan baku, penolong dan bahan jadi maupun juga ditemukan sebagai limbah.

C. Volume Limbah

Semakin besar volume limbah, pada umumnya, bahan pencemarnya semakin banyak. Hubungan ini biasanya terjadi secara linier. Oleh sebab itu dalam pengendalian limbah sering juga ditipayakan pengurangan volume limbah. Kaitan antara volume limbah dengan volume badan penerima juga sering digunakan sebagai indikasi pencemaran. Perbandingan yang mencolok jumlahnya antara volume limbah dan volume penerima limbah juga menjadi ukuran tingkat pencemaran yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Misalnya limbah sebanyak 100 m³ air per 8 jam mempunyai konsentrasi plumbum 4 mg/hari dialirkan ke suatu sungai yang mempunyai debit 8.000 m³ per jam.

D. Frekuensi Pembuangan Limbah

Pabrik yang secara kontinu membuang limbah berbeda dengan pabrik yang membuang limbah secara periodik walau konsentrasi pencemar sama, dan jumlah buangnya pun sama. Pengaruh terhadap lingkungan mengalami perbedaan.

Dalam hal sering tidaknya suatu pabrik membuang limbah tergantung terhadap proses pengolahan dalam pabrik. Artinya volume air buangnya tergantung dari volume produksinya. Semakin tinggi produksi semakin tinggi volume limbahnya. Ada pabrik yang dalam periode tertentu jumlah airnya melebihi daripada kondisi sehari-hari. Setiap lima hari dalam sebulan volume limbahnya sangat berlebih, kecuali bila pabrik *blow down*. Atau ada pabrik yang hanya membuang limbah sekali dalam seminggu sedangkan pada hari-hari lainnya tidak. Semakin banyak frekuensi pembuangan limbah, semakin tinggi tingkat pencemaran yang ditimbulkan.

E. Dampak Pencemaran

Dampak pencemaran limbah terhadap lingkungan harus dilihat dari jenis parameter pencemar dan konsentrasinya dalam air limbah.

Dari satu sisi suatu limbah mempunyai parameter tunggal dengan konsentrasi yang relatif tinggi, misalnya Fe. Di sisi lain ada limbah dengan 10 parameter tapi dengan konsentrasi yang juga melewati ambang batas. Persoalannya bukan yang mana lebih baik daripada yang terburuk, melainkan yang manakah seharusnya lebih mendapat prioritas.

1. Pencemaran Limbah Cair

Parameter fisika, kimia dan biologis diukur melalui komponen bahan yang terdapat dalam air limbah. Tabel berikut menunjukkan jenis parameter umum yang diukur dari berbagai kepentingan dengan kegiatan pengendalian lingkungan.

- Parameter Fisika

Yang dimaksud dengan parameter fisika adalah berbagai sifat air yang dapat ditetapkan dengan cara pengukuran secara fisis seperti kekeruhan, salinitas, daya hantar listrik, bau, suhu, lumpur dan lain-lain. Kekeruhan air menunjukkan bahwa dalam air banyak partikel yang larut, terendap, melayang dan terapung yang terdiri dari berbagai persenyawaan. Partikel ini berupa peruraian dari zat organik, jasad renik, lumpur dan tanah liat. Adanya partikel tersebut membatasi cahaya sinar matahari masuk dalam air sehingga menghalangi reaksi fotosintesis. Di antara partikel ini ada yang bersifat membawa kesuburan bagi tanaman air tertentu.

Berbeda halnya dengan kadar salinitas yang menunjukkan kadar garam dalam air. Semakin tinggi kadar garam air semakin asin dan penggunaannya pun terbatas. Tingkat konduktivitas air diukur dengan daya air untuk mengantarkan arus listrik. Tingginya konduktivitas air menyatakan bahwa terdapat ion yang cukup baik menghantarkan listrik terutama ion logam. Padatan yang terdapat dalam air limbah yaitu bahan yang tersisa apabila limbah disaring atau divapkan. Padatan ini terdiri padatan terlarut, mengendap dan tercampur.

Jenis parameter pencemar secara fisis dalam kapasitas tertentu mengakibatkan perubahan badan penerima. Adanya perubahan itu maka fungsi penggunaan air tidak sesuai lagi

dengan peruntukannya. Keruh, berbau, berwarna, rasa asin dari lain-lain adalah indikasi yang menyatakan perubahan kualitas badan penerima. Apabila kondisi pencemaran ini tidak mengalami perubahan, berarti daya dukung lingkungan tidak mampu menetralisasi parameter pencemar tersebut.

- Parameter Kimia

Sebagian besar senyawa kimia dalam air termasuk dalam kategori kimia organik maupun anorganik. Parameter kimia paling dominan dalam mengukur kondisi badan air akibat buangan industri. Barangkali parameter ini yang paling hanya menciptakan kecemasan dan bahaya terhadap lingkungan.

Oksigen mempunyai peranan penting dalam air. Kekurangan oksigen dalam air mengakibatkan tumbuhnya mikroorganisme dan bakteri. Bakteri berfungsi untuk menguraikan zat organik dalam air. Dalam air terjadi reaksi oksigen dengan zat organik oleh adanya bakteri aerobik. Atas dasar reaksi ini dapat diperkirakan bahan pencemar oleh zat organik.

- Keasaman Air

Nilai keasaman air (pH) ditentukan oleh banyaknya ion hidrogen yang terlarut dalam air. Keasaman mempunyai nilai antara 1-14. Kondisi air normal, bila tingkat keasaman berkisar antara 6,5 s/d 8,5. Air yang mempunyai tingkat keasaman tinggi mengakibatkan kehidupan makhluk dalam air menjadi terancam. Yang membuat air menjadi asam adalah buangan yang mengandung asam, seperti asam sulfat dan klorida. Keasaman air yang rendah membuat air sukar berbuih, karena mengandung zat seperti kalium, natrium. Keasaman tinggi maupun rendah membuat air menjadi steril yang mengakibatkan tidak dapat dipergunakan.

- Logam Berat

Yang termasuk logam berat adalah besi, air raksa (merkuri), cadmium, chromium, nikel, plumbum dan lain-lain. Sebagian besar logam ini ditemukan dalam buangan berbentuk anorganik. Kandungan logam dalam buangan dan badan penerima mengurangi penggunaan air. Logam termasuk bahan beracun.

Tabel 6.7. Jenis parameter pencemar yang diukur dalam air limbah

No	Parameter	Satuan	Keterangan
I	Yang termasuk parameter pencemaran fisika :		
	1. Warna	Pt Co	
	2. Kekeruhan	mg/1	
	3. Salinitas	0/00	
	4. Konduktifitas	M ohms	
	5. Padatan total	mg/1	
	6. Suspensi solid	mg/1	
	7. Padatan terlarut		
	8. Bau	-	
	9. Temperatur	oC	
II	Yang termasuk parameter kimia anorganik		
	1. Konsentrasi ion hidrogen	-	
	2. Zat-zat organik	mg/1	
	3. COD	--	
	4. BOD		
	5. Kesadahan	--	
	6. Kalsium		
	7. Magnesium	--	
	8. P. alkalinitas		
	9. M. alkalinitas	--	
	10. CO2		
	11. Garam-garam karbonat		
	12. Nitrit	--	
	13. Nitrat	^ _	
	14. Chlorida		
	15. Sianida		
	16. Silika	--	
	17. Fosphat		
	18. Amoniak		
	19. Besi	--	
	20. Timbal		
	21. Natrium		
	22. Kalium	--	
	23. Tembaga		

No	Parameter	Satuan	Keterangan
	24. Seng mg/l		
	25. Arsen		
	26. Mangan	- "	
	27. Chrom		
	28. Air raksa		
	29. Nikel		
	30. Fluorida		
	Organik :		
	1. Minyak dan lemak mg/l		
	2. Pestisida	- "	
	3. Hidrokarbon		
	4. Chloroforen		
	5. Protein mg/l		
	6. Fenol		
III	Yang termasuk parameter biologis		
	1. Bakteri dan jenis-jenisnya	Banyak per 100 ml	
	2. Organisme pathogen.	Banyak per 100 ml	
IV	Radioaktif		
	1. Radium 226	Pci / l	
	2. Strontium 90	Pci / l	

Dalam konsentrasi tertentu bila termakan manusia membahayakan kesehatan bahkan mengancam kehidupan. Plumbum dapat menyebabkan mabuk dan merupakan racun yang berakumulasi. Nikel dan chrom bersifat racun dan dapat menyebabkan kanker walaupun dalam jumlah kecil. Adanya logam tersebut mengakibatkan terganggunya kehidupan dalam air, penggunaan air sebagai air minum, air untuk pertanian, air untuk perikanan.

Plumbum sangat beracun. Dalam air minum hanya diizinkan 50 mg/liter. Plumbum dapat diendapkan dengan CaOH atau NaOH dalam bentuk $Pb(OH)_2$; dengan $NaCO_3$ dalam bentuk $PbCO_3$.

Merkuri sangat beracun dan dalam air minum hanya diizinkan 2 mg/liter. Untuk menghilangkan merkuri dalam air

dilakukan penyesuaian pH : 5 – 6, dengan asam sulfur dan kemudian ditambahkan sodium sulfida. Diperoleh sulfida yang tidak larut yang selanjutnya dapat difiltrasi.

Minyak dan lemak dalam gugusan ester akan terdekomposisi menjadi unsur karbon, hidrogen dan oksigen pada suhu tinggi melalui reaksi bahan kimia lain. Sebagian dari minyak dan lemak mengapung dan menutup permukaan air sedangkan sebagian lagi mengendap berbentuk lumpur. Penghilangan minyak dan lemak dalam limbah cair dibahas pada bab selanjutnya.

Fenol menjadi racun bagi ikan pada konsentrasi 2 mg/liter, berbau dan terasa pada air minum pada konsentrasi 0,005 mg/liter. Pada umumnya konsentrasi fenol ditetapkan 0,1 mg/liter untuk *Best Practical Control Technology Currently Available* pada tahun 1977 dan 0,02 mg/liter untuk *Best Available Control Technology Economically Achievable*. Untuk mengurangi konsentrasi fenol dalam air buangan ada beberapa metode perlakuannya antara lain *incineration, absorption, chemical oxidation, biological*, daur ulang dan lain-lain. Proses daur ulang bila effluent ada sekitar 200 liter/menit dengan konsentrasi 2000 mg/liter. Ekstraksi menggunakan *packed column influent 3000 mg/liter*, efisiensi mencapai 93%.

2. Pencemaran Limbah Padat

Pencemaran lingkungan yang ditimbulkan limbah padat kemungkinan adalah timbulnya gas beracun, di antaranya asam sulfida, amoniak metan, CO₂, CO. Limbah dari berbagai macam bentuk dan jenis bertumpuk pada satu tempat mengakibatkan terjadinya pembusukan dengan bantuan mikroorganisme. Adanya musim hujan dan kemarau ganti-berganti, proses pemecahan bahan organik oleh bakteri penghancur dalam suasana aerob maupun anerob menimbulkan gas.

- Penurunan Kualitas Udara

Pengaruh terhadap kualitas udara akibat timbulnya gas hasil reaksi kimia dalam timbunan limbah. Gas seperti H₂S, NH₃, methane akan terkonsentrasi di udara dengan nilai tertentu. Dalam konsentrasi 50 ppm H₂S membuat mabuk dan pusing.

Konsentrasi H₂S yang diizinkan 30 mg per meter kubik udara. Karbon monoksida (CO) berasal dari sisa pembakaran yang tidak sempurna. Nilai ambang batas CO 100 ppm = 110 mg per meter kubik udara. Amoniak yang berupa gas pada suhu dan tekanan normal mempunyai nilai ambang batas 35 mg per meter kubik udara.

Serat asbestos, hidrokarbon, fenol, natrium sulfida, oksida logam dari pembakaran, seng, oksida, SO₂ yang berasal dari bahan padat merupakan racun bagi manusia.

- **Penurunan Kualitas Air**
Buangan jenis padat berupa lumpur, buburan dengan tidak disadari dibuang bersama air limbah. Demikian juga bentuk padatan lain yang tidak ekonomis dibuang langsung ke perairan. Padatan tersebut dalam air dipecah dan berurai menjadi bahan pencemar lain seperti padatan larut, padatan mengendap dan zat organik lain. Kekeruhan air, warna dan rasa air berubah. Air menjadi beracun akibat limbah padat tersebut.
- **Kerusakan Permukaan Tanah**
Timbunan sampah menghasilkan gas nitrogen, hidrogen, amoniak dan asam sulfida. Adanya zat merkuri, chrom dan arsen menimbulkan gangguan terhadap bio tanah, tumbuhan, merusak struktur permukaan dan tekstur tanah. Limbah lain seperti oksida logam, baik yang terlarut maupun dalam areal permukaan tanah, menjadi racun.

3. Pencemaran Limbah Gas

Gas tertentu yang lepas ke udara dalam konsentrasi tertentu akan membunuh manusia. Konsentrasi fluorida yang diperkenankan dalam udara 2,5 mg/meter kubik. Fluorida dan persenyawaannya adalah racun dan mengganggu metabolisme kalsium dan enzim. Sedangkan hidrogen fluorida sangat iritatif terhadap jaringan kulit, merusak paru-paru dan menimbulkan penyakit pneumonia.

Asam sulfida, garam sulfida dan karbon disulfida adalah persenyawaan yang mengandung sulfur. Persenyawaan sulfida

dapat terurai dan lepas ke udara menyebabkan kerusakan pada sel susunan saraf. Dalam kadar rendah tidak berbau dan bila kadar bertambah menyebabkan bau yang tidak enak gejalanya cepat menghebat menimbulkan pusing, batuk dan mabuk.

Uap, yaitu bentuk gas dari zat tertentu tidak kelihatan dan dalam ruangan berdifusi mengisi seluruh ruang. Yang harus diketahui adalah jenis uap yang terdapat dalam ruangan karena untuk setiap zat berbeda daya reaksinya. Zat-zat yang mudah menguap adalah amoniak, chlor, nitrit, nitrat dan lain-lain.

Debu yaitu partikel zat padat yang timbul pada proses industri seperti pengolahan, penghancuran dan peledakan, baik berasal dari bahan organik maupun dad anorganik. Debu, karena ringan, akan melayang di udara dan turun karena gaya tarik bumi. Debu yang membahayakan adalah debu kapas, debu asbes, debu silicosis, debu stannosis pada pabrik timah putih, debu siderosis, debu yang mengandung Fe_2O_3 .

Penimbunan debu dalam paru-paru akibat lingkungan mengandung debu yaitu pada manusia yang ada di sekitarnya bekerja atau bertempat tinggal. Kerusakan kesehatan akibat debu tergantung pada lamanya kontak, konsentrasi debu dalam udara, jenis debu itu sendiri dan lain-lain.

Asap adalah partikel dari zat karbon yang keluar dari cerobong asap industri karena pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Asap bercampur dengan kabut/uap air pada malam hari akan turun ke bumi bergantung pada daun-daunan ataupun berada di atas atap rumah.

Bahan yang bersifat partikel menurut sifatnya akan menimbulkan:

- Rangsangan saluran pernafasan
- Kematian karena bersifat racun
- Alergi
- Fibrosis
- Penyakit demam

Bahan yang bersifat gas dan uap menurut sifat-sifatnya akar berakibat:

1. Merangsang penciuman seperti: HCl , H_2S , NH_3

2. Merusak alat-alat dalam tubuh, misalnya CaCl
3. Merusak susunan saraf: uap plumbum, fluorida
4. Merusak susunan darah: benzena

Untuk menghindari dampak yang diakibatk'an limbah melalui udara selain menghilangkan sumbernya juga dilakukan pengendalian dengan penetapan nilai ambang batas. Nilai ambang batas adalah kadar tertinggi suatu zat dalam udara yang diperkenankan, sehingga manusia dan makhluk lainnya tidak mengdlami gangguan penyakit atau menderita karena zat tersebut. Di samping itu masih ada rumusan lain yang diberikan khusus bagi para pekerja dalam lingkungan itu. Karena waktu kerja manusia pada umumnya 8 jam sehari, 40 jam seminggu, maka nilai ambang batas bagi mereka berbeda dengan nilai ambang batas pada umumnya. Suatu zat yang sama akan berbeda pengetrapannya terhadap kedua obyek yang berbeda, misalnya antara manusia dan hewan, antara manusia dengan manusia sendiri dalam dua lingkungan yang berbeda.

7.5. Nilai Ambang Batas

Daya racun suatu bahan tergantung pada kualitas dan kuantitas bahan tersebut. Dengan jumlah sedikit sudah membahayakan manusia ini tidak lain karena kualitasnya cukup memadai untuk membunuh. Oleh sebab itu pengetahuan akan sifat fisika dan kimia bahan beracun dan berbahaya sangat penting bagi karyawan yang bekerja dalam pabrik. Kegunaan bahan, akibatnya terhadap manusia dan lingkungan, tanaman dan hewan, walau sebagai pengetahuan umum sangat penting peranannya. Demikian juga sifat bahan terhadap pengaruh temperatur tinggi, terhadap air, terhadap benturan dan sebagainya perlu dipahami oleh para karyawan di pabrik.

Nilai ambang batas pada mulanya ditujukan pada karyawan yang bekerja di perusahaan industri yaitu untuk menjamin kesehatan dan keselamatan kerja selama mereka bekerja dalam pabrik. Sebagai karyawan yang bekerja untuk puluhan tahun harus terjamin kesehatannya akibat kondisi udara dan lingkungan kerjanya. Udara sekelilingnya haruslah memenuhi syarat kesehatan walaupun mengandung bahan tertentu.

Agar udara memenuhi syarat kesehatan maka konsentrasi bahan dalam udara ditetapkan batasannya. Artinya konsentrasi bahan tersebut tidak mengakibatkan penyakit atau kelainan selama delapan jam bekerja sehari atau 40 jam seminggu. Ini menunjukkan bahwa di tempat kerja tidak mungkin bebas polusi udara. Nilai ambangbatas adalah alternatif bahwa walau apapun yang terdapat dalam lingkungan kerjanya, manusia merasa aman. Dalam perkataan lain, nilai ambangbatas juga diidentikkan dengan kadar maksimum yang diperkenankan.

Kedua pengertian ini mempunyai tujuan sama. Daya tahan manusia atau reaksi fisiologi manusia berbeda terhadap bahan tertentu seperti misalnya reaksi suatu bangsa terhadap penyakit tertentu. Di samping itu efek cuaca dan musim turut mempengaruhi konsentrasi sehingga antara satu periode perlu mendapat perubahan. Untuk keadaan lain nilai ambang batas ini diambil secara rata-rata.

Pada umumnya satuan yang dipakai untuk nilai ambang batas adalah mg/m^3 yaitu bagian dalam sejuta yang disingkat dengan bds atau ppm (*part per million*). Satuan mg/m^3 biasanya dikonversikan kepada satuan mg/liter melalui:

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg / liter}}{M} \times 22,400 \times \frac{273 + t^{\circ}\text{C}}{273} \times \frac{760}{P}$$

ppm = *part per million* (bagian dalam sejuta)

M = berat molekul

p = tekanan dalam mm. Hg.

t = suhu dalam derajat Celcius

$\text{mg}/1$ = satuan untuk ppm

Antara satu senyawa dengan senyawa lain berbeda nilai ambang batasnya dan antara senyawa itu sendiri juga berbeda untuk waktu yang berbeda pula.

Tabel kualitas udara standar untuk gas dan debu di Amerika sebagai ppm.

Tabel 7.8. Konsentrasi zat tertentu yang diizinkan dalam lingkungan kerja

Senyawa	Waktu			Wilayah
	24 jam	1 jam	P jam	
Carbon monoksida	-	120 ppm	30 ppm	Kalifornia.
	-	60	15	New York
Iluurida sebagai HP	0,001	-	-	New York
	0,002	-	-	Rural
	0,004	-	-	New York - Urban
				New York - Industrial
Ilidrogen sulfida	-	-	0,05 (30 menit)	Kalifornia
Nitrogen dioksida	-	0,25	-	Kalifornia
Sulfur dioksida	0,08	0,21	-	Rural
	0,15	0,32	-	Industrial
Plurnbum (debu)	-	-	0,005 (30 hari)	Montana
Sulfat sebagai H ₂ SO ₄ (suspended)	-	-	- 0,01 (30 hari)	
Particulate	-	-	0,12	Kolorado (3 bulan)
Matter				

Tabel 7.9. Beberapa zat pencemar dan jenis gangguan yang ditimbulkan

No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
1	2	3	4
1.	Aldehid	- Pemanasan lemak, minyak dan gliserol	- gangguan pada rongga saluran pernapasan
2.	Amoniak	- proses kimia dari pembuatan celup, eksplosif dan pupuk	- radang saluran pernafasan
3.	Arsen	- pengolahan metal atau asam yang Mengandung arsen, pematrian	- merusak sel darah, ginjal dan menyebabkan penyakit kuning
4.	Hidrogen	- fumigasi: perapian tungku, industri kimia dan <i>metal</i> pialing	- mengganggu sel saraf, menyebabkan kekeningan kerongkongan, penglihatan kabur dan sakit perut
5.	Chlorine	- Pengelantangan tekstil dan pencucian fluor, serta proses kimia	- mengganggu sistem pernafasan dan selaput mato serta menyebabkan kerusakan paru-paru

No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
6.	Natrium	- Sisa pembakaran kendaraan bermotor, <i>soft-coal</i>	- gangguan aktivitas "cilia" sehingga debu langsung masuk paru-paru
7.	Phosgenes	- industri kimia dan celup	- batuk-batuk dan kadang-kadang gatal pada paru-paru
8.	Suspendid partikel (abu, asap)	- pembakaran sampah atau industri	- paru-paru bengkak, gangguan pada mata dan mungkin kanker
9.	Karbon monoksida	- pembakaran tak sempurna bahan yang mengandung carbon	- kapasitas angkut O ₂ darah menurun gangguan janin dalam kandungan
		- proses industri/pabrik asap rokok - Kebakaran hutan	- gangguan pada pembuluh darah jantung, fungsi panca indera berkurang
10.	Oksida foto kimiawi (kabut asap, smog)	- pembusukan bahan organik - polusi bersifat oksidasi (di perkotaan) - akibat kombinasi uap HC yang bersenyawa dengan NO dan kena sinar matahari, menghasilkan ozon dan lain-lain - knalpot mobil & kombinasi dengan zat lain	- kemampuan belajar/berpikir berkurang - sakit pernafasan - penyakit nadi jantung - gangguan pada math - mengurangi fungsi ozon menahan sinar infra merah matahari sehingga menaikkan kematian
11.	Sulfat	- reaksi atmosfer SO ₂ , - mobil dengan alat untuk mengurangi HC dan CO (mobil baru dengan <i>catalytic converters</i>)	- penyakit pernafasan (asthma, bronchitis kronis)
12.	Timah hitam (Plumbum, Pb)	- Pabrik baterai/aki - asap mobil - radiator mobil - timah hitam di udara - dari pabrik pengecoran metal bukan besi	- gangguan jiwa/perilaku - kekurangan darah - muntah, kejang-kejang - gangguan fungsi ginjal - gangguan sistem syaraf - gangguan otak - kelihatan lekas tua - berat badan berkurang - kelainan jenis dalam kandungan
13.	Oksida bale-rang	- hasil pembakaran (batu bara, minyak bahan cellu-	- gangguan sensorik dan pernafasan serta gangguan

No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
		- losa), proses industri	kesehatan lainnya - kerusakan pabrik dan korosi
14.	Benda bentuk butiran	- kebakaran hutan - gunung meletus - PLTB - proses dalam pabrik dan lain-lain.	- asthma dan pernafasan terganggu - batuk bertambah - menambah kematian
15.	Sulfur dioksida (SO ₂)	- pengecoran biji logam yang mengandung belerang - pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung belerang	- gangguan pernafasan - asthma, bronchitis - kronis, emfisema paru - mata terganggu (berair) - menambah kematian
16.	Nitrogen oksida NO.	- pembakaran dalam mesin - pembakaran strasioner - pabrik bahan peledak	- penyakit paru (emfisema) - penyakit pembuluh darah jantung - radang ginjal kronis
17.	Fluorida hidrogen	- pemanasan dengan suhu tinggi dan bijih ² , tanah liat dan flux yang mengandung fluorine berasal dari pabrik keramik, pabrik reduksi aluminium, pabrik suprafosfat	- merusak tanaman jeruk dan hasil pertanian lain; kerusakan pada gigi dan tulang ternak yang makanannya mendapat kontaminasi (pencemaran) itu
18.	Nikel (Ni)	- industri stainless - industri baja, anode plat - listrik - pembakaran minyak bumi, batu bara - racun dalam makanan (gandum) dan minuman (air buah)	- dermatitis (perusak kulit) - nikel karbonal menyebabkan kanker paru dan hidung - pusing, sakit dada dan muntah-muntah
19.	Vinilchlorida (VC)	- pabrik PVC (palyvinil chlorida) - plastik pembungkus makanan - kaleng aerosol - kosmetika, parfum - wall paper - alat-alat dapur	- bisa menggugurkan kandungan - janin abnormal - kanker hati

No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
20.	Policromi-natphenyl	<ul style="list-style-type: none"> - campuran termoplastik - plastik pada mesin tik, mesin hitung, alat baca mikro film, radio, alat TV, - termostat - alami (batu, tanah, sinar kosmos) - pengetesan senjata nuklir 	<ul style="list-style-type: none"> - reproduksi terganggu - kerusakan fungsi hati - gangguan fungsi syaraf - teratogenic agent - leukemia - kanker tulang - gangguan pada genetika
21.	Strontium-90 dan lain-lain	<ul style="list-style-type: none"> - pusat tenaga nuklir - tambang uranium 	
22.	Warangan (arsenoas)	<ul style="list-style-type: none"> - bahan pestisida - bahan herbisida - industri cat, - gelas dan keramik - pengawet kayu - pembakaran batu bara - pengecoran Pb 	<ul style="list-style-type: none"> - peradangan pada usus - detak jantung tak teratur - kelemahan otot - kehilangan nafsu makan - susah buang air besar - Karcinogenik - Peradangan hidung dan selaput lendir
23.	Asbes	<ul style="list-style-type: none"> - tambang/pabrik ashes - bahan penolak kebakaran - gedung/bangunan yang mengandung asbes 	<ul style="list-style-type: none"> - asbestosis - karcinogenik, terutama menyerang paru dan usus
24.	Barium (Ba)	<ul style="list-style-type: none"> - dicampur dengan bahan bakar di sel - barium sulfat tak beracun 	<ul style="list-style-type: none"> - baritosis - gangguan jantung dan hipertensi - gangguan ginjal
25.	Berilium	<ul style="list-style-type: none"> - industri perunggu - industri pembuatan lampu neon 	<ul style="list-style-type: none"> - berilosis - peradangan seluruh sistem pernafasan - lemah badan - berat badan berkurang
26.	Hidrokarbon berchlori - DDT - Hexachlorida - Dieldrin - Aldrin - Endrin - Chlordan - dll.	Bahan racun jenis: <ul style="list-style-type: none"> - DDT - Hexachlorida - Dieldrin - Aldrin - Endrin - Chioridan 	<ul style="list-style-type: none"> - keracunan, dengan gejala pening, nafsu makan berkurang, fungsi hati terganggu, hiperaktivitas - bahan karcinogenik - perubahan genetika
27.	Organofosfat - paratnion	Bahan racun jenis: <ul style="list-style-type: none"> - malathion - diazinon 	<ul style="list-style-type: none"> - gejala keracunan: pening, muntah, kram perut, kejang-kejang, dan mati. Jika tak fatal,

No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
		- atrazin - simazin	dapat mengganggu fungsi hati, gangguan syaraf, kelainan waktu lahir.
28.	Carbamat	- baygon - carbaryl dll.	- gejala keracunan pada umumnya sama dengan organo fosfat.
29.	Herbisida (pemusnah daunan)	- pemusnah rumput - turunan urea	- sebagai bahan karcinogenik
30.	Fungisida	- captan phatalimida	- bahan karcinogenik - bahan teratogenik - bahan mutagenik (efek seperti thalidomid)
31.	Cadmium	- industri plat - listrik - baterai nikel - cadmium - pewarna plastik - pewarna cat - pipa galvanisasi - racun dalam makanan kaleng	- melalui saluran dan pencernaan makanan dan - lelah, gugup, mulut kering - pancaindra terganggu - radang tenggorokan - emphisema - cirrhosis hepatitis - air kencing keruh - hipertensi
32.	Chlorine (C.)	- pemrosesan chlotine dalam pabrik kertas	- edema paru-paru - bronchitis
33.	Chromium (CT)	- industri stainless steel - penyamakan kulit - industri film - pembakaran batu-bara dan sampah	- kanker saluran pernaasan - infeksi kulit (dermatitis)
34.	Fluorida	- pabrik pupuk fosfat - pembakaran batu bara - pabrik logam, aluminium, baja, gelas, ubin	- kekurangan fluor: caries gigi - kelebihan fluor: - akumulasi protein pada otot, tulang, resobsi tulang - kelahiran mongoloid
35.	Air raksa	- industri pemakai air raksa - penggunaan pestisida air raksa " - industri kertas - ikan dengan keracunan air raksa dimakan manusia	- keracunan metil Hg: kelainan syaraf - kesulitan menelan, - buta, tuli, lumpuh - kelainan fungsi ginjal - cacat lahir - membawa kematian

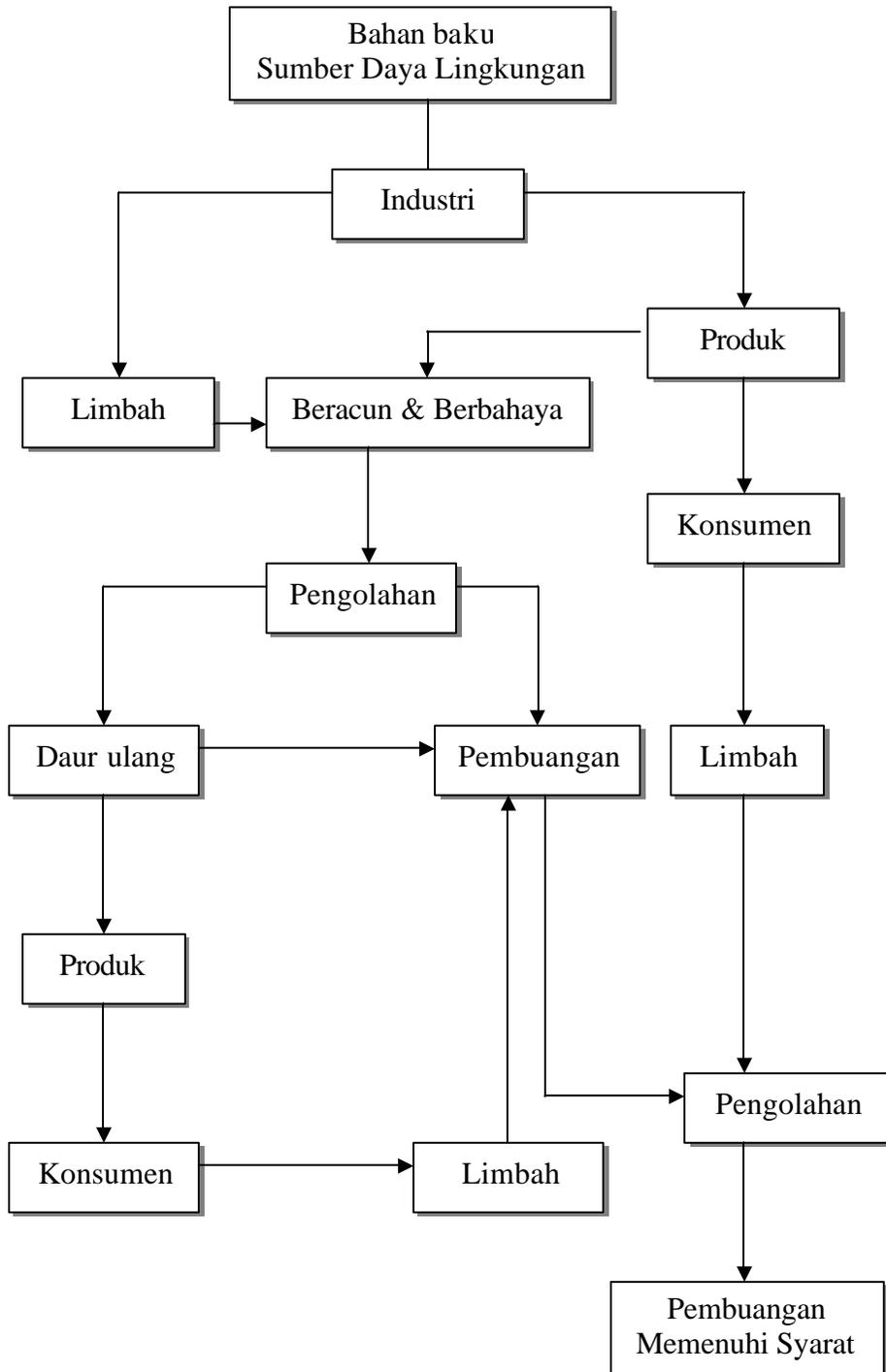
No.	Bahan pencemar	Sumber	Jenis gangguan yang ditimbulkan
36.	Oksidan-oksidan	- reaksi fotokimia di atmosfer oksida nitrogen, gas organik, uap-uap dan radiasi matahari	- gangguan sensorik dan pernafasan serta keselamatan lain - pengurangan ketajaman penglihatan karena aerosol fotokimia
37.	Monoksida karbon	- kendaraan yang memakai bahan bakar minyak, - pembakaran minyak, proses industri	- penurunan daya tampung darah untuk oksigen
38.	Hidrokarbon total berbentuk gas	- pembakaran minyak, proses - industri, penguapan hidrokarbon	- penurunan penglihatan, gangguan sensorik, gangguan kerusakan pabrik
39.	Oksida nitrogen	- pembakaran minyak, proses industri	- penurunan penglihatan, gangguan sensorik, gangguan kesehatan lain
40.	Aldehid alipatik total, formaldehid dan acrolein	- pembakaran minyak, pembakaran limbah, reaksi fotokimia di atmosfer	- gangguan sensorik, pengurangan penglihatan, gangguan kesehatan lainnya
41	Bahan-bahan partikel	- pembakaran mesin, proses industri, proses alami	- pengurangan penglihatan, pengotoran permukaan
42	Sulfida	- coke, destilasi, penyulingan minyak dan gas alam, pembuatan - viscoserayon dan proses kimia tertentu	- gangguan bau dan dapat menyebabkan kematian dalam dosis yang tinggi

7.5.1. Pengolahan Limbah Industri

Bagi pengusaha yang belum sadar terhadap akibat buangan mencemarkan lingkungan, tidak punya program pengendalian dan pencegahan pencemaran. Oleh sebab itu bahan buangan yang keluar dari pabrik langsung dibuang ke alam bebas. Kalau limbah cair langsung mempergunakan sungai atau parit sebagai sarana pembuangan limbah. Kalau limbah padat memanfaatkan tanah kosong sebagai tempat pembuangan. Kalau limbah gas/asap cerobong dianggap sarana yang baik pembuangan limbah.

Limbah membutuhkan pengolahan bila ternyata mengandung senyawa pencemaran yang berakibat menciptakan kerusakan terhadap lingkungan atau paling tidak potensial menciptakan pencemaran. Suatu perkiraan harus dibuat lebih dahulu dengan jalan mengidentifikasi: sumber pencemaran, kegunaan jenis bahan, sistem pengolahan, banyaknya buangan dan jenisnya, kegunaan bahan beracun dan berbahaya yang terdapat dalam pabrik.

Dengan adanya perkiraan tersebut maka program pengendalian dan penanggulangan pencemaran perlu dibuat. Sebab limbah tersebut baik dalam jumlah besar atau sedikit dalam jangka panjang atau jangka pendek akan membuat perubahan terhadap lingkungan, maka diperlukan pengolahan agar limbah yang dihasilkan tidak sampai mengganggu struktur lingkungan. Namun demikian tidak selamanya harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Ada limbah yang langsung dapat dibuang tanpa pengolahan, ada limbah yang setelah diolah dimanfaatkan kembali. Dimaksudkan tanpa pengolahan adalah limbah yang begitu keluar dari pabrik langsung diambil dan dibuang. Ada beberapa jenis limbah yang perlu diolah dahulu sebab mengandung pollutant yang dapat mengganggu kelestarian lingkungan. Limbah diolah dengan tujuan untuk mengambil barang-barang berbahaya di dalamnya dan atau mengurangi/menghilangkan senyawa-senyawa kimia atau nonkimia yang berbahaya dan beracun. Mekanisme pengolahan limbah dapat dilihat pada bagan 7.22.



Gambar 7.22. Mekanisme Pengolahan Limbah

Pengolahan limbah berkaitan dengan sistem pabrik. Ada pabrik yang telah mempergunakan peralatan dengan kadar buangan rendah sehingga buangan yang dihasilkannya tidak lagi perlu mengalami pengolahan. Bagi pabrik seperti ini memang telah dirancang dari awal pembangunan. Buangan dari pabrik berbeda satu dengan yang lain. Perbedaan ini menyangkut pula dengan perbedaan bahan baku, perbedaan proses. Suatu pabrik sama-sama mengeluarkan limbah air namun terdapat senyawa kimia yang berbeda pula.

Karena banyaknya variasi pencemar antara satu pabrik dengan pabrik lain maka banyak pula sistem pengolahan. Demikian banyak macam parameter pencemar dalam suatu buangan, akibatnya membutuhkan berbagai tingkatan proses pula. Limbah memerlukan penanganan awal. Kemudian pengolahan berikutnya. Pengolahan pendahuluan akan turut menentukan pengolahan kedua, ketiga dan seterusnya.

Kekeliruan penetapan pengolahan pendahuluan akan turut mempengaruhi pengolahan berikutnya. Di dalam penetapan pilihan metode keadaan limbah sudah seharusnya diketahui sebelumnya. Parameter limbah yang mempunyai peluang untuk mencemarkan lingkungan harus ditetapkan. Misalnya terdapat senyawa fenol dalam air sebesar 2 mg/liter, fosfat 30 mg/liter dan seterusnya.

Dengan mengetahui jenis-jenis parameter di dalam limbah maka dapat ditetapkan metode pengolahan dan pilihan jenis peralatan. Sekali sudah ditetapkan metode dan jenis peralatan maka langkah berikutnya adalah sampai tingkat mana diinginkan menghilangkan/ pengurangan senyawa pencemarnya. Berapa persenkah kita inginkan pengurangan dan sampai di mana efisiensi peralatan harus dicapai pada tingkat maksimum.

Penetapan efisiensi peralatan, dan standar buangan yang diinginkan akan mempengaruhi ketelitian alat, volume air limbah, sistem pemipaan, pemasangan pipa, pilihan bahan kimia dan lain-lain.

Dalam mendesain peralatan, variabel tadi harus dapat dihitung secara tepat. Belum ada suatu jaminan bahwa satu unit peralatan dapat mengendalikan limbah sesuai dengan yang dikehendaki. Sebab di dalam satu unit peralatan terdiri dari berbagai macam kegiatan mulai dari kegiatan pendahuluan sampai kegiatan akhir.

Walaupun terdiri dari berbagai kegiatan namun tidak semua jenis kegiatan dipraktekkan, mungkin dengan kombinasi dari beberapa kegiatan saja limbah sudah bebas polusi.

Adapun jenis kegiatan dalam pengolahan air limbah dapat diuraikan dalam tabel 7.10.

Tabel 7.10 Jenis kegiatan dan tujuannya

No.	Jenis kegiatan	Peralatan	Tujuan pengolahan
1.	Penyaringan	<i>Barscreen</i> dan <i>Macks</i> kasar	Untuk menyaring bahan kasar dan padat
2.	Menangkap pasir	<i>Grit chamber</i>	Menghilangkan pasir dan }coral
3.	Menangkap lemak dan buih	<i>Skimmer & Greasetrap</i>	Memisahkan bahan-bahan terapung
4.	Perataan air	Tangki ekualisasi	Meratakan konsentrasi
5.	Nctralisasi	Bahan kimia	Menetralkan air
6.	Pengendapan	Tangki pengendap	Mengendapkan lumpur dengan bahan kimia
7.	Pengapungan.	Tangki Pengapung	Menghilangkan senyawa terlarut dengan bantuan udara
8.	Lumpur aktif	Bak (kolam)	Menghilangkan larutan organik biologis
9.	<i>Trickling filter</i>	Saringan	Menghilangkan larutan organik biologis
10.	Acrasi	Tangki dan Scompresor	Menghilangkan larutan organik
11.	Karbon aktif	Saringan dengan karbon aktif	Menghilangkan senyawa organik yang tidak dapat berurai
12.	Pengendapan ki-min	Tangki pengendap dan bahan kimia	Mengendapkan bahan kimia
13.	Nitrifikasi	Menara	Menghilangkan nitrat dan nitrit
14.	Chlorinasi	Bahan kimia	Menghancurkan bakteri pathogen

Pengolahan limbah sexing harus menggunakan kombinasi dari berbagai metode, terutama limbah berat yang banyak mengandung jenis parameter/Jarang perusahaan mempergunakan satu proses dan hasilnya baik. Pilihan peralatan berkaitap dengan biaya, pemeliharaan, tenaga ahli dan kualitas lingkungan. Untuk beberapa jenis pencemar telah ditetapkan

metode *treatment*-nya. Pilihan ini didasarkan atas beberapa referensi dan pengalaman yang telah dicoba berulang kali sampai diperoleh hasil maksimum.

Di bawah ini disajikan jenis pencemar dengan metodenya.

Tabel 7.11. Beberapa parameter pencemar dan pilihan peralatan pengolahan

No.	Parameter pencemar	Pilihan metode peralatan
1.	Suspensi solid	Sedimentasi, <i>clarification</i> , <i>floatation</i> , <i>coagulation</i> , <i>flocculation</i> , <i>filtration</i> , <i>microscreening</i> .
2.	Minyak dan lemak	<i>Crauityseparation</i> , <i>skimming</i> <i>dissolved air floatation</i> , <i>autsorbtion filtration</i> .
3.	Bahan-bahan anorganik	<i>Aeration & sedimentation</i> , <i>coagulation &</i> <i>sedimentation</i> , <i>ion exchange</i> , <i>softening</i> dan <i>filtration</i> .
4.	Cuper (tembaga)	<i>Coagulation & precipitation</i> , <i>ion exchange</i> .
5.	Chromium	<i>Reduction dan precipitation</i> , <i>ion exchange</i> , <i>electro chemical</i> .
6.	Phosphor	<i>Chemical precipitation</i> , <i>ion exchange</i> , <i>chemical</i> <i>precipitation</i> .
7.	S e n g	<i>Chemical precipitation</i> , <i>ion exchange</i> , <i>chcmi</i> <i>cal precipalation</i> .
8.	<i>Total dissolved solid</i>	<i>Reverse osmosis</i> , <i>ion exchange</i> , <i>evaporation</i> , <i>electrodalysis distalation</i> .
9.	<i>Sludge</i>	<i>Flotation</i> , <i>thickening</i> , <i>evaporation coagulation</i> <i>& flocculation</i> , <i>centrifugation</i> , <i>land fill</i> , <i>anaerobic</i> , <i>incineration</i> , kolam atabilisasi.
10.	Keasaman dan Kebasaan	Netralisasi

Air limbah mungkin terdiri dari satu atau lebih parameter pencemar melampaui nilai yang ditetapkan. Kemungkinan di dalamnya terdapat minyak dan lemak, bahan anorganik seperti besi, aluminium, nikel, plumbum, barium, fenol dan lain-lain sehingga perlu kombinasi dari beberapa alat. Untuk menurunkan BOD dan COD dapat dilakukan dengan metode aerasi dan ternyata metode ini juga cukup baik untuk melakukan pengeridapan suspensi solid.

Ada beberapa proses yang dilalui air limbah agar limbah ini benar-benar bebas dari unsur pencemaran. Tingkatan proses dimaksudkan

adalah sesuai dengan tingkatan berat ringannya. Pada mulanya air limbah harut dibebaskan dari benda terapung atau padatan melayang. Untuk itu diperlukan *treatment* pendahuluan. Pengolahan selanjutnya adalah mengendapkan partikel-partikel halus kemudian lagi menetralsasinya. Demikian tingkatan ini dilaksanakan sampai seluruh parameter pencemar dalam air buangan dapat dihilangkan.

7.5.2. Pengolahan Limbah Cair

Pada bab ini akan dibahas aspek perencanaan dan perhitungan dari beberapa teknologi pengolahan limbah secara sederhana yang ditujukan bagi para praktisi yang ingin mengetahui lebih mendalam masalah teknologi pengolahan limbah, rumus-rumus yang dipakai dalam buku ini telah disederhanakan dan banyak menggunakan pengalaman emoiric dari para ahli yang telah menggeluti dan banyak melakukan percobaan dari teknologi tersebut.



Gambar 7.23. Pinsip dasar usaha kegiatan yang berwawasan lingkungan

Dalam perencanaan terdapat berbagai ragam istilah yang lazim digunakan dalam menentukan ukuran/dimensi atau tingkat beban dari limbah yang akan diproses. Pengertian dasar dari berbagai ragam

istilah tsb adalah sbb:

- a) Hydraulic Load : Artinya adalah jumlah volume limbah yang perlu diolah dalam sehari, biasanya dalam bentuk m³/hari.
Misalnya hydraulic load limbah dari suatu asrama adalah 40 m³/hari, maka artinya volume limbah yang dihasilkan dari penghuni dan kegiatan asrama tersebut setiap harinya adalah 40 m³.
- b) Flow time : Artinya berapa lama seluruh volume limbah tersebut mengalir karena pada kenyataannya aktivitas manusia yang menghasilkan limbah tidak konstant sehari penuh. Misalnya flow time dari asrama tersebut diatas adalah 14 jam. Artinya limbah mengalir hanya dalam periode 14 jam (mis dari jam 6.00 s/d jam 20.00) dan seterusnya selama 10 jam aliran berhenti.
- c) Flow rate : Artinya adalah volume aliran limbah per jam. Misalnya untuk kasus diatas maka Peak flow adalah $40 \text{ m}^3/14 \text{ jam} = 2.86 \text{ m}^3/\text{jam}$.
- d) Peak Flow : Aca waktu waktu tertentu dimana aliran limbah lebih banyak dibanding waktu lainnya, misalnya kegiatan pada pagi hari dimana seluruh penghuni asrama pada mandi, cuci pakaian, dlsb. Tetapi sebaliknya juga ada waktu tertentu dimana aliran limbah hanya sedikit, sehingga biasanya untuk basis perhitungan diambil secara rata rata (*Flow Rate*)
- e) Organic Load : Istilah yang mencerminkan jumlah beban organik yang ada didalam limbah yang akan diolah dan ini ditunjukkan oleh kandungan BOD dan COD. Ada beberapa satuan yang lazim dipakai ialah mg/ltr, kg/m³, kg,'hari, dlsb. Lepas dari apa satuan yang dipakai tetapi pada intinya sama saja.
Misalnya limbah asrama tersabut diatas mempunyai BOD = 300 mg/ltr dan COD = 400

mg/ltr. Maka bisa juga disebut bahwa : BOD load limbah asrama = 12 kg/hari COD load limbah asrama = 16 kg/hari

f) Hydraulic Retention Time atau Detention time

Sering juga disingkat dengan istilah HRT yang artinya adalah berapa lama limbah akan *menginap* didalam sistem pengolahan. Lebih lama limbah menginap maka proses pengolahan lebih baik tetapi konstruksi menjadi besar. Sebaliknya bila terlampau cepat maka praktis hanya lewat saja hingga tidak terjadi proses pengolahan.

g) Ratio SS/COD terendap :

Sering juga disebut sebagai settleable SS/COD ratio. SS (*suspended solid*) adalah jumlah banan padat yang melayang dalam air (mg/ltr). Sebagian dapat diendapkan dan jumlah yang mudah terendapkan dibanding dengan kandungan COD, disebut sebagai ratio SS/COD terendap.

Untuk limbah domestik ratio ini biasanya berkisar antara 0.35 s/d 0.45.

h) Desludging interval : Artinya jangka waktu yang kita inginkan untuk menguras lumpur dalam sistem pengolahan limbah (misalnya sekali setahun, sekali tiap lima tahun, dsb). Perlu diketahui bahwa sistem pengolahan limbah selalu menghasilkan lumpur. Banyak sedikitnya lumpur ini tergantung dari sistem/teknologi yang dipakai. Lumpur tersebut secara periodik perlu dikuras dan bila kita inginkan interval yang lama (misalnya sekali dalam waktu lima tahun) maka konstruksi yang dibutuhkan menjadi besar. Sebaliknya bila intervalnya singkat (misalnya sekali tiap bulan) maka konstruksi bisa lebih kecil. Tetapi bila terlampau sering menguras jelas akan sangat merepotkan.

i) Strength : Arti harafiahnya adalah kekuatan tetapi dalam urusan limbah artinya adalah tingkat pencemarannya (yang ditunjukkan dengan COD atau BOD). Jadi

limbah dengan *high strength* artinya kadar BOD/COD nya tinggi. Sedangkan limbah low strength artinya kadar BOD/COD nya rendah.

Sebelum melangkah pada pemilihan teknologi, kita harus mengetahui dan menentukan beberapa hal pokok seperti :

- Asal / sumber limbah cair
- Volume limbah yang akan diolah
- Bahan pencemar yang terkandung dalam limbah
- Kandungan apa saja yang akan dihilangkan
- Effluentnya akan dibuang kemana
- Regulasi yang berlaku
- Aspirasi non teknis yang terkait dengan perencanaan dan pemilihan sistim.

Semua data tersebut berkaitan erat untuk perencanaan dan pemilihan sistim pengolahan yang akan dipakai.

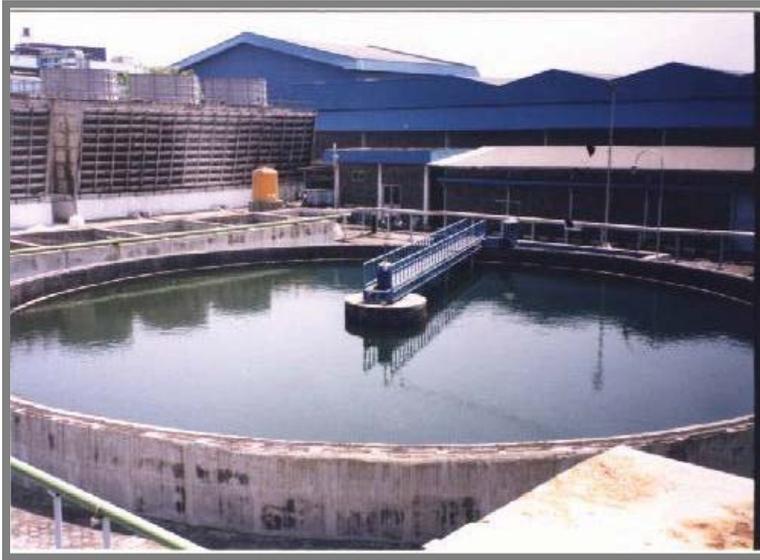
<i>Type of Treatment</i>	Aerobic Treatment	Anaerobic Treatment
Suspended Biomass	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Activated Sludge ▪ Modified Activated Sludge xtended, Carousscl) • Aerated Lagoon • Oxydation Ponds 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Septic Tank ▪ Imhoff Tank ▪ Anaerobic Lagoon ▪ Uplift Anaerobic Sludge ▪ Blanket (UASB) ▪ Anaerobic contact. Baffled ▪ Septic Tank
	Oxydation Ditch, Facultative Pond, Jokasso, SBR	
Attached Biomass	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trickling Filter ▪ Rotating Biological Contactor (RBC) ▪ Contact Aeration 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Anaerobic Filter

A. PRETREATMENT

a. Screen / Saringan

Saringan biasanya dipasang pada awal pemasukan pada unit pengolahan limbah cair, gunanya untuk menyaring sampah padat yang terikut dalam aliran air limbah. Bentuk dan fungsinya sangat beragam tergantung dari padatan yang akan disaring. Type screen dibedakan dari

cara pembersihannya, ada yang pembersihannya dengan manual dan ada yang secara mekanik dengan motor listrik.



Gambar 7.24. Pengolahan Pretreatment

Type screen yang umum dijumpai adalah :

Grease Trap & Grit Chamber (Perangkap Lemak Dan Penangkap Padatan)

Pemisahan grit pada instalasi pengolahan limbah cair adalah untuk menjaga/melindungi pompa dan peralatan mekanik lainnya dari kerusakan karena tergerus oleh padatan inorganik (grit) seperti pasir, kerikil, lumpur, pecahan kaca, logam, dlsb. Selain merusak peralatan mekanik, padatan inorganik yang tidak dapat diuraikan oleh bakteri/ mikroorganisme akan membentuk endapan yang akan membebani settling tank, unit aerasi dan digester, dimana pada unit tersebut memerlukan pengurusan berkala.

Bangunan untuk memisahkan grit dari bahan organik lainnya disebut sebagai Grit chamber, dimana sistem pemisahan grit nya adalah dengan mengatur kecepatan aliran/velocity nya atau dengan aerasi, teknik baru yang lebih efisien adalah dengan sistem hydrocyclone.

Bahan padat yang dapat terurai (*biodegreable*) seperti kotoran manusia tidak boleh mengendap disini. Karena itu retention time pada grit chamber relatif singkat hanya berkisar antara 3 ski 5

menit.

Lemak pada limbah cair terdiri dari bermacam bentuk material antara lain lemak, malam/lilin, fatic-acid, sabun, mineral-oil dan material non-volatil lainnya. Lemak sebetulnya bisa diuraikan oleh bakteri/microorganisme, tetapi karena lemak ini mudah mengapung dan dipisahkan dari air limbah, maka dengan menangkap/menghilangkan lemak sebelum masuk pada unit pengolahan, akan mengurangi beban/load organik yang ada, sehingga berdampak pada desain dan besaran konstruksi.

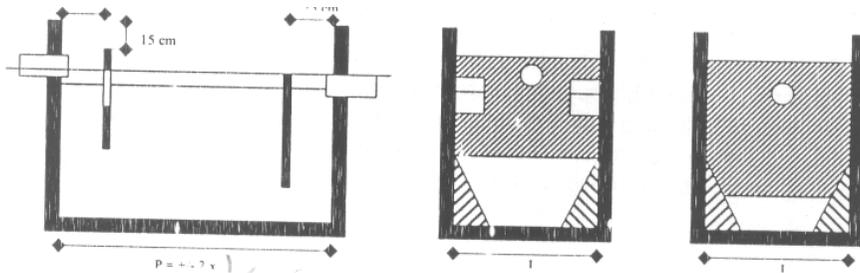
Bangunan penangkap lemak sering juga disebut sebagai; Grease Trap, Prinsip dari konstruksi ini adalah bahan yang ringan (minyak, lemak, dst) akan mengapung jika kondisi airnya tenang, sehingga biasanya konstruksi grease trap adalah bak dengan sekat sekat untuk menghilangkan turbulensi.

Melihat dari kedua sifat yang ada tersebut yaitu bahan yang ringan (minyak, lemak, dlsb.) akan mengapung, sedangkan bahan yang berat (pasir, kerikil, pecahan kaca, logam, dlsb.) akan mengendap, maka akan lebih menghemat jika hisa menggabungkan konstruksi Grit Chamber dan Grease Trap dalam satu konstruksi.

Untuk menghindari agar bahan yang biodegreable tidak mengendap disini dianjurkan agar dasar dari konstruksi ini dibuat tirus hingga kecepatan aliran pada bagian bawah lebih besar. Hal penting yang perlu dilakukan adalah pembersihan dari lemak dan bahan padat lainnya secara periodik, dengan kata lain sungguhpun konstruksi penangkap lemak. dan bahan padat telah dibuat, tetapi bila tidak dilakukan pembersihan secara periodik maka manfaatnya sama sekali tidak ada.

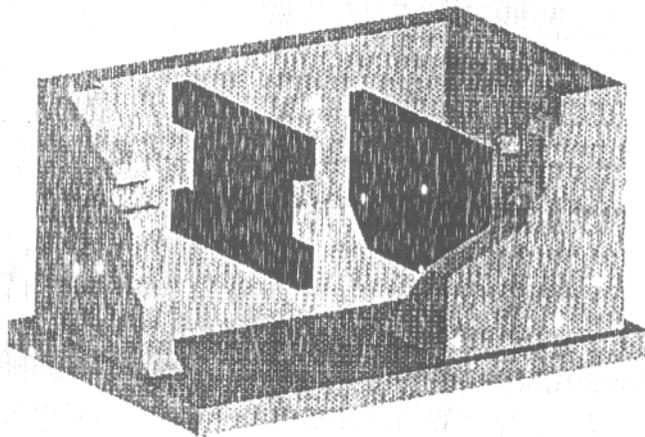
Periode pembersihan ini sangat tergantung pada jumlah bahan padat dan lemak yang terikut. Tetapi rata rata sekali tiap minggu sampai maksimum sekali tiap bulan merupakan praktek yang lazim.

Contoh sketsa konstruksi gabungan Grit chamber dan Grease trap dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 7.25. Grit chamber

Ukuran diatas hanya bersifat ilustratif. Ukuran sebenarnya perlu dihitung dan disesuaikan dengan jumlah aliran limbah yang akan ditangani.



Gambar 7.26. Grit chamber dan Grease trap

Contoh soal :

Diketahui :

Limbah dari asrama Perawat RS berjumlah 40 m^3 per hari. Limbah tersebut dari WC penghuni asrama tersebut dan juga berbagai kegiatan yang dilakukan seperti dapur dan cusian Total produksi limbah per hari 40 m^3 , waktu produksi limbah rata rata 8 jam dalam satu hari

Direncanakan untuk membangun suatu grease trap dan grit chamber sebelum limbah tersebut masuk ke unit pengioahan.

Berapa kira kira volume dari konstruksi tersebut ??

Perhitungan :

Flow rate adalah = 40 m³ / 8 jam = 5 m³/jam
 = 500J liter / 60 menit
 = **83.33 liter / menit**

Retention time dalam konstruksi diambil **3 menit**

Maka volume konstruksi yang dibutuhkan = 83.33 lt/menit x 3 menit
 = **250 liter atau 0.25 m³.**

Dimensi kita tentukan dulu lebarnya, misal dasar trapesium 20 cm an, lebar = 60 cm, dan panjang nya 2x lebar = 120 cm.

Karena kemiringan 60° maka tinggi trapesium = 34,64 cm bulatkan jadi 35 cm.

$$\text{Volume trapesium (A)} = \left(\frac{0.6+0.2}{2} \times 0.35 \right) \times 1.2 = 0.168 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume chamber} = \text{Vol (A)} + \text{vol (B)} \rightarrow \text{Vol (B)} = 0.25 \text{ m}^3 - 0.168 \text{ m}^3$$

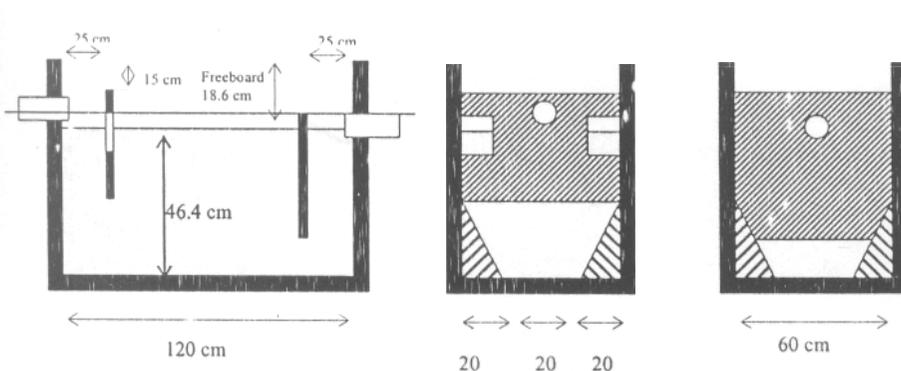
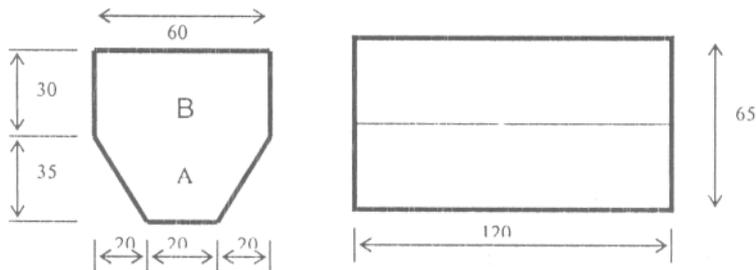
$$(0.6 \times 1.2 \times T) = 0.082 \text{ m}^3$$

$$\text{TB (tinggi B)} = 0.114 \text{ m} = 11.4 \text{ cm}$$

$$(+\text{Freeboard } \pm 20\text{cm})$$

$$= \mathbf{30 \text{ cm}}$$

$$\text{Tinggi total (A) + (B)} = 35 + 30 = \mathbf{65 \text{ cm}}$$



b. Equalisasi

Equalisasi bukan merupakan suatu proses pengoiahan tetapi merupakan suatu cara / teknik untuk meningkatkan efektivitas dari proses pengolahan selanjutnya. Keluaran dari bak equalisasi adalah adalah parameter operasional bagi unit pengolahan sellanjutnya seperti flow, level/derajat kandungan polutant, temperatur, padatan, dsb.



Gambar 7.27. Bak equalisasi

Kegunaan dari equalisasi adalah :

- Membagi dan meratakan volume pasokan (*influent*) untuk masuk pada proses treatment.
- Meratakan variabel & fluktuasi dari beban organik untuk menghindari shock loading pada sistem pengolahan biologi
- Meratakan pH untuk meminimalkan kebutuhan chemical pada proses netralisasi.
- Meratakan kandungan padatan (SS, koloidal, dlsb) untuk meminimalkan kebutuhan chemical pada proses koagulasi dan flokulasi.

Sehingga dilihat dari fungsinya tersebut, unit bak equalisasi sebaiknya dilengkapi dengan mixer, atau secara sederhana konstruksi/peletakan dari pipa inlet dan outlet diatur sedemikian rupa sehingga menimbulkan efek turbulensi!mixing.

Idealnya pengeluaran (discharge) dari equalisasi dijaga konstan selama periode 24 jam, biasanya dengan cara pemompaan maupun cara cara lain yang memungkinkan.

Menghitung volume bak equalisasi.

Untuk menentukan kebutuhan volume bagi bak equalisasi, perlu diketahui dahulu flow patern dari discharge limbah yang ada, seperti kita ketahui sangatlah jarang dan langka discharge limbah yang konstan dari waktu ke waktu, karena jika discharge dan bebannya sudah konstar maka tidaklah perlu dibuat bak equalisasi. Untuk mendapatkan data flow patern perlu dilakukan pengukuran debit limbah secara periodik (misalnya setiap 30 menit atau setiap jam) dalam kurun waktu tertentu, tergantung pada proses yang ada (24 jam, 1 minggu, 1 bulan. dlsb.) artinya adalah : ada siklus proses yang selesai dalam 1 hari dan diulang ulang lagi proses tersebut pada hari berikutnya, untuk kasus tersebut pengukuran debit limbah cukup dilakukan selama 24 jam, tetapi ada kasus lain dimana siklus prosesing memakan waktu sampai beberapa hari, artinya proses hari ini berbeda dengan proses esok harinya dan berbeda juga pada hari lusanya dar, seterusnya, sehingga pada kasus ini perlu diamati terus minimal selama 1 siklus.

Contoh soal.

Dari pengukuran debit limbah yang dilakukan siswa SMK Kimia di pabrik kulit Mandala, didapat data seperti tertulis pada tabel dibawah ini, desainlah suatu bak equalisasi dimana limbah dari bak terseaut akan dialiran ke unit pengolahan biologi selanjutnya secara konstan (dipompa) dalam 24 jam.

Jam pengukuran	Pengukuran (Lt/menit)
08.00	50
09.00	40
10.00	62
11.00	310
12.00	270
13.00	140
14.00	90
15.00	110
16.00	80
17.00	150
18.00	230
19.00	305
20.00	30
21.00	200
22.00	80
23.00	60
24.00	70
01.00	55
02.00	40
03.00	70
04.00	75
05.00	45
06.00	55
07.00	35

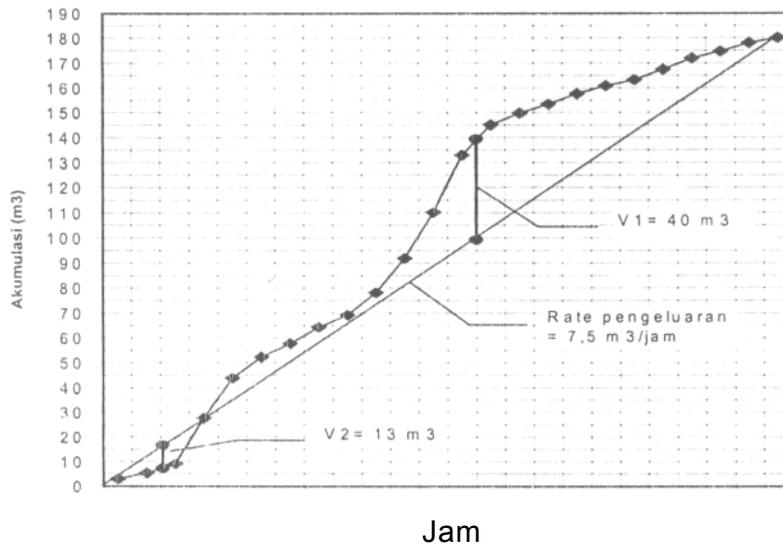
m3	Akumulasi Σ (m3)
3	37,72
2,4	5,4
3,75	9,12
18,6	2,72
16,2	43,92
8,4	52,32
5,4	57,72
6,6	64,32
4,8	69,12
9	78,12
3,8	91,92
18,3	110,22
22,8	133,02
12	145,02
4,8	149,82
3,6	153,42
4,2	157,62
3,3	160,92
2,4	163,32
4,2	167,52
4,5	172,02
2,7	174,72
3,3	178,02
2,1	180,12
180,12	

Vol. limbah per hari = 180,12 m³

Dibagi / dikeluarkan secara kontinyu dalam waktu 24 jam,

Debit pengeluaran (pompa) = 180,12 : 24 = 7.5 m3/jam

Flow patern



Volume bak equalisasi = $V1 + V2$
 = $40\text{ m}^3 + 13\text{ m}^3 = 53\text{ m}^3$
 untuk keamanan tambah 10 % $\rightarrow 53\text{ m}^3 \times 1,1 = \mathbf{58.3\text{ m}^3}$

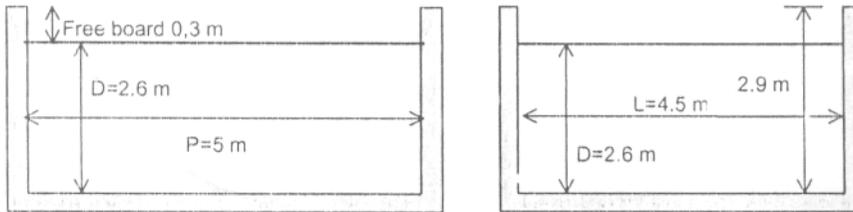
Bentuk bak bisa dibuat persegi, bulat maupun oval dengan konstruksi pasangan batu atau beton bertulang.

Misal bak berbentuk persegi dengan

Panjang = 5 m
 Lebar = 4,5 m
 Dalam = 2,6 m
 Maka, volume = $5 \times 4,5 \times 2,6 = \mathbf{58,5\text{ m}^3}$ (siip)

Untuk kedalaman ditambah free-board 30 cm, sehingga total kedalaman konstruksi bak menjadi **2,9 m**

Gambar Sketsa dari perhitungan di atas dapat dilihat pada:



c. Netralisasi

Sebagian besar limbah cair dari industri mengandung bahan-bahan yang bersifat asam (Acidic) ataupun Basa (alkaline) yang perlu dinetralkan sebelum dibuang ke badan air maupun sebelum limbah masuk pada proses pengolahan, baik pengolahan secara biologis maupun secara kimiawi, proses netralisasi tersebut bisa dilakukan sebelum atau sesudah proses equalisasi.

Untuk mengoptimalkan pertumbuhan mikroorganisme pada pengolahan secara biologis, pH perlu dijaga pada kondisi antara pH 6,5 - 8,5, karena sebagian besar mikroba aktif atau hidup pada kondisi pH tersebut. Proses koagulasi dan flokulasi juga akan lebih efisien dan efektif jika dilakukan pada kondisi pH netral.



Gambar 7.28. Bak netralisasi

Netralisasi adalah penambahan Basa (alkali) pada limbah yang bersifat asam ($\text{pH} < 7$), atau penambahan Asam (acid) pada limbah yang bersifat Basa ($\text{pH} > 7$).

Pemilihan bahan/reagen untuk proses netralisasi banyak ditentukan oleh harga/biaya dan praktis-nya, Bahan (reagen) yang biasa digunakan tersebut adalah :

- Asam :
 - Sulfuric acid (H_2SO_4)
 - Hydrochloric acid (HCl)
 - Carbon dioxide (CCG_2)
 - Sulfur dioxide
 - Nitric acid
- Basa :
 - Caustic soda (NaOH) Ammonia
 - Soda Ash (Na_2CO_3) Limestone (CaCO_3)

d. Sedimentasi / Pengendapan

Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan yang terkandung dalam limbah cair oleh gaya gravitasi, pada umumnya proses Sedimentasi dilakukan setelah proses Koagulasi dan Flokulasi dimana tujuannya adalah untuk memperbesar partikel padatan sehingga menjadi lebih berat dan dapat tenggelam dalam waktu lebih singkat.

Sedimentasi bisa dilakukan pada awal maupun pada akhir dari unit sistim pengolahan. Jika kekeruhan dari influent tinggi, sebaiknya dilakukan proses sedimentasi awal (*primary sedimentation*) didahului dengan koagulasi dan flokulasi, dengan demikian akan mengurangi beban pada treatment berikutnya. Sedangkan secondary sedimentation yang terletak pada akhir treatment gunanya untuk memisahkan dan mengumpulkan lumpur dari proses sebelumnya (*activated sludge*, OD, dlsb) dimana lumpur yang terkumpul tersebut dipompakan keunit pengolahan lumpur tersendiri.



Gambar 7.29. Bak sedimentasi

Sedimen dari limbah cair mengandung bahan organik yang akan mengalami proses dekomposisi, pada proses tersebut akan timbul formasi gas seperti carbon dioxida, methane, dlsb. Gas tersebut terperangkap dalam partikel lumpur dimana sewaktu gas naik keatas akan mengangkat pula partikel lumpur tersebut, proses ini selain menimbulkan efek turbulensi juga akan merusak sedimen yang telah terbentuk. Pada Septic-tank, Imhoff-tank dan Baffle-reactor, konstruksinya didesain sedemikian rupa guna menghindari efek dari timbulnya gas supaya tidak mengaduk/merusak partikel padatan yang sudah mapan (*settle*) didasar tangki, sedangkan pada UASB (*Uplift Anaerobic Sludge Blanket*) justru menggunakan efek dari proses tersebut untuk mengaduk aduk partikel lumpur supaya terjadi kondisi seimbang antara gaya berat dan gaya angkat pada partikel lumpur, sehingga partikel lumpur tersebut melayang-layang/mubal mubal.

Setelah proses dekomposisi dan pelepasan gas, kondisi lumpur tersebut disebut sudah stabil dan akan menetap secara permanen

pada dasar tangki, sehingga sering juga proses sedimentasi dalam waktu yang cukup lama disebut dengan proses **Stabilisasi**. Akumulasi lumpur (Volume) dalam periode waktu tertentu (*desludging-interval*) merupakan parameter penting dalam perencanaan pengolahan limbah dengan proses sedimentasi dan stabilisasi lumpur.

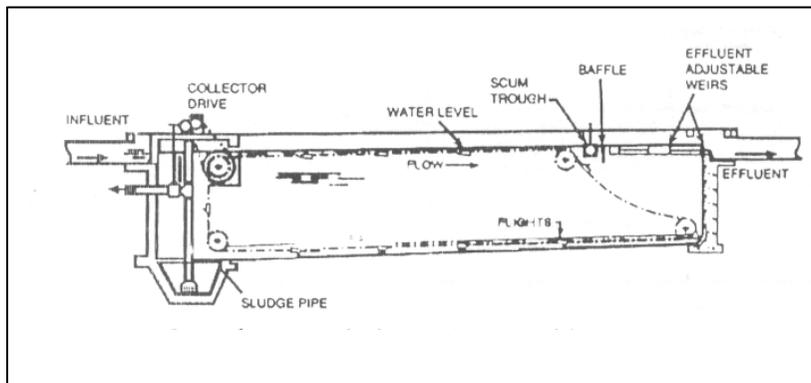
Tangki Pengendapan / Settling Tank

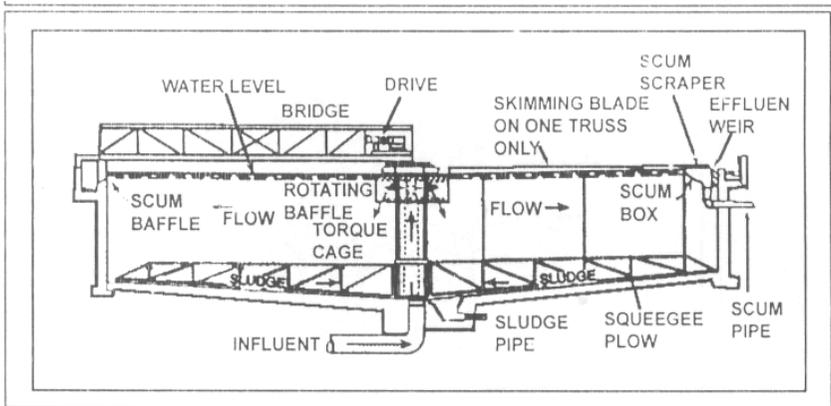
Settling tank disebut juga Clarifier ataupun sedimentation tank, desain dasar dari settling tank adalah untuk memisahkan phase solid dan liquid dari limbah, bentuk sederhananya seperti hopper, bisa berbentuk persegi maupun berbentuk bulat dengan dasar dibuat miring (konus/tirus) guna memudahkan pengumpulan dan penyedotan lumpurnya.

Secara umum bentuk konstruksi settling tank adalah :

1. Static settling tank.

- 1.a Tanpa sludge scrapers (serok lumpur), sludge suction (sedot lumpur)
- 1.b Dengan scapers atau dengan sludge suction.





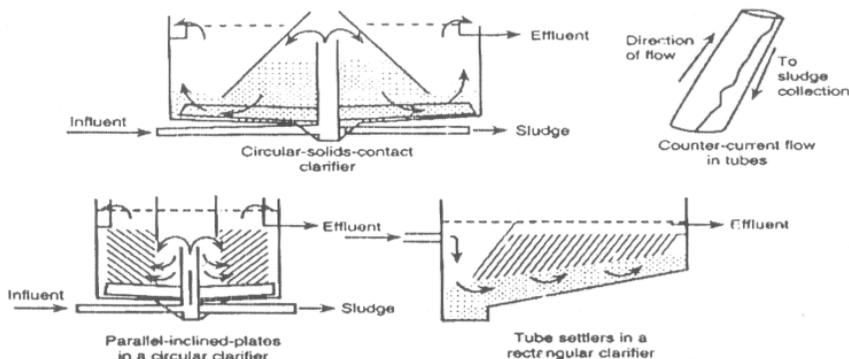
Gambar 7.30. Static settling tank.

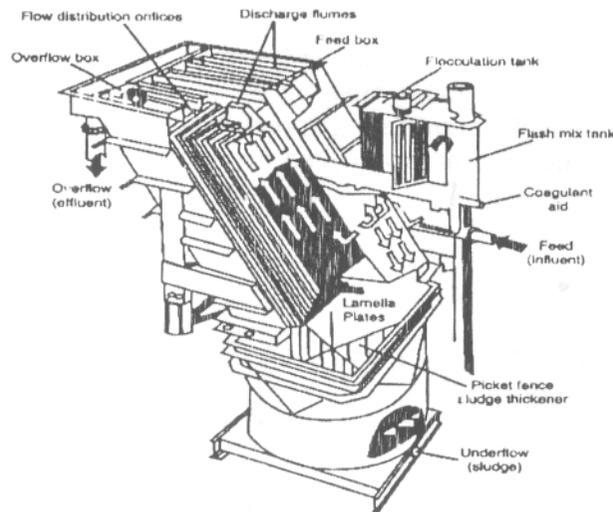
2. Plate and Tube Settlers

Efisiensi pemisahan lumpur berkaitan langsung dengan kecepatan pengendapannya, dan tidak ada hubungannya dengan kedalaman tangki. Dari kenyataan ini bisa disimpulkan bahwa tangki sedimentasi harusnya dibuat sedangkal mungkin untuk menaikan efisiensi pemisahan.

Dari hal tersebut dikembangkanlah pengendapan dengan bentuk plat yang disusun berlapis lapis dengan jarak tertentu, ataupun bentuk pipa yang disusun bertumpuk tumpuk.

Dengan sistim ini waktu pengendapan dapat direduksi secara drastis.

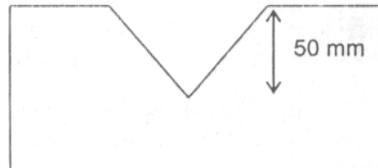




Gambar 7.31. Plate and Tube Settlers

Weir (celah luapan air)

Umumnya weir berbentuk V dengan sudut 90° , dengan tinggi (dalam) 50 mm dan jarak center antara 150 mm – 300 mm



Parameter utama dalam perhitungan sedimentasi adalah :

1. Detention time.

Gunanya untuk memberikan waktu yang cukup bagi solid partikel untuk turun dan mengendap, secara empiris HRT diambil: > 3 jam

2. Surface Loading.

Hubungan antara volume limbah yang masuk dalam 1 hari (m^3) (yang berisi sejumlah partikel padatan yang akan diendapkan), berbanding dengan luas permukaan tangki. Secara empiris Surface Loading diambil : $< 10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ Dimensi tangki sedimentasi dipengaruhi berbagai faktor seperti besarnya instalasi, kondisi lapangan yang ada, perhitungan ekonomis, dlsb. Sebagai gambaran misal untuk flow rate yang kecil bisa dipakai settling tank sederhana (tanpa scrapers) sudut kemiringannya antara 45°

– 60°, pada flow rate besar / konstruksi besar akan sulit membuat sudut kemiringan sebesar itu (konst. jadi dalam banget), sehingga dipakailah mechanical scrapers, pada kasus ini kemiringan hanya berkisar 1% (pada bentuk persegi panjang) dan 8% (pada bentuk silinder).

Contoh soal .

Diketahui :

Volume limbah su,itu pabrLk = 50 per hari, sebeluni masuk pada unit pengolahan bicologis, padatan pada lmbah tersebut akan diendapkan teriebih dahulu pada tangki sedimentasi berbentuk bujur sangkar dengan dasar trapesium. Hitunglah dimensi tangki tersebut.

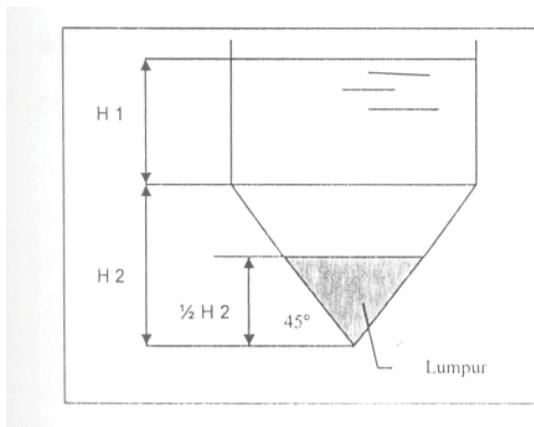
Perhitungan :

Kita ambil detention time > 3 jam, dan surface loadingnya < 10 m³/m².hari.

→ Surface area (A) = Vol. Limbah per hari : Surface loading
 = 50 m³/hari : 10m³/m². hari
 A = 5m²

→ panjang sisi belah ketupat a = √A = √5
 = 2.23m dibulatkan => **2,2 m**

→ Volume tangki = Vol Limbah per jam x Detention time
 = (50 m³/hari : 24 jam/hari) x 3 jam
 = 6.25 m³



1. Kubus
 Vol = Luas alas x tinggi
 = A x H1
2. Limas segi 4 (Piramida)
 Vol = Luas alas x 1/3 tinggi
 = A x 1/3 H2 = $\frac{AxH2}{3}$
3. Lumpur
 Vol = Luas alas x 1/3 tinggi
 = 1/4 A x 1/3 (1/2 H2)
 = 1/4 A x 1/6 H2

Karena sudut kemiringan 45° , maka

$$H_2 = a / 2 = 1,1 \text{ m}$$

Volume efektif = $A \times H_1 + \dots\dots\dots$

$$6.25 = (A.H_1) + \{ 7/24 (A.H_2) \}$$

$$6.25 = (5. H_1) + 7/24 (5 \times 1,1) \quad 4,64 = 5 H_1$$

$$H_1 = 0,93 \text{ m} = 93 \text{ cm} \quad ; \text{ Freeboard} = 20 \text{ cm}$$

Gambar :

Weir Loading max = $30 \text{ m}^3 / \text{m.hari}$

Check weir loadng = Vol. Limbah masuk : pajang weir

$$= 50 \text{ m}^3 / \text{hari} : (2.2 \text{ m} - 0,3) \times 4$$

$$= 6,7 \text{ m}^3 / \text{m.hari} < 30 \text{ (okee)}$$

B. Anaerobic Treatment

1. Septic Tank

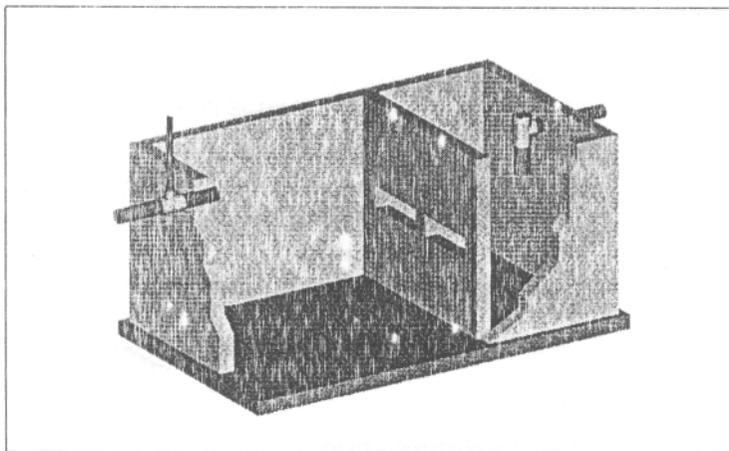
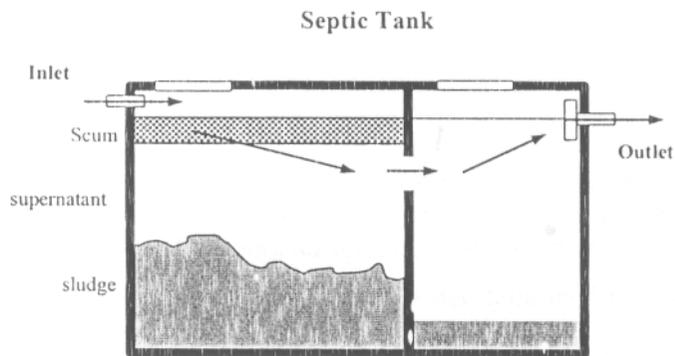
Septic tank adalah teknik pengolahan limbah yang amat lazim digunakan didunia untuk pengolahan limbah setempat dan skala kecil. Pada intinya proses yang terjadi pada septic tank adalah sedimentasi (pengendapan) dan dilanjutkan dengan stabilisasi dari bahan bahan yang diendapkan tersebut lewat proses anaerobic.

Keuntungan dari septic tank adalah murah, konstruksinya scderhana dan dengan operasi yang baik umur teknis nya amat panjang.

Tetapi kelemahan dari septic tank adalah treatment efficiency yang relutif rendah (15% - 40% BOD) dan effluent yang dihasilkan masih berbau karena mengandung bahan yang belum terdekomposisi sempurna.

Konstruksi Septic tank terdiri dari minimum 2 ruang (chamber) dan bisa juga lebih.

Pada ruang pertama (treatment chamber 1) berkisar 70% (2/3) dari total volume desain, karena sebagian besar dari lumpur/sludge don scum akan terjadi di ruang ini, dan ruang kedua 30% (1/3) total volume untuk menangkap partikel padatan yang lobs dari ruang pertama.



Gambar 7.32. Septic tank

Pada ruang pertama ini limbah cair yang masuk akan menjadi 3 bagian ialah:

- ❖ Lumpur/sludge yang mengendap pada bagian bawah dan untuk seterusnya lumpur ini akan terurai lewat proses anaerobik.
- ❖ Supernatant, ialah cairan yang telah berkurang unsur padatnya dan untuk seterusnya akan mengalir menuju ke chamber 2
- ❖ Scum (buih atau langit-langit) yang merupakan bahan yang lebih ringan dari air seperti minyak, lemak, dan bahan ikutan lain. Scum ini bertambah lama bertambah tebal. Karena itu perlu dihilangkan secara periodik (biasanya sekali dalam 1 tahun). Scum ini sebenarnya tidak mengganggu reaksi yang terjadi selama proses pengolahan, tetapi bila terlampaui tebal akan memakan tempat hingga kapasitas treatment akan berkurang.

Sedangkan pada ruang kedua (dan berikutnya) yang terjadi adalah:

- ❖ Endapan lumpur/sludge, khususnya partikel yang tidak terendapkan pada ruang pertama.
- ❖ Supernatant yang seterusnya menjadi effluent untuk dibuang ke alam atau diresapkan kedalam tanah.

Design kriteria dan langkah perencanaan untuk Septic tank.

Untuk mempermudah pemahaman didalam merencanakan maka uraian design criteria dan langkah perencanaan diuraikan dalam bentuk contoh kasus.

Kasus 1.

Data:

- ❖ Jumlah limbah yang dihasilkan dari suatu asrama adalah 13 m³/hari
- ❖ Setelah dilakukan pengamatan ternyata limbah tersebut mengalir selama 12 jam, ialah dari jam 7.00 pagi sampai jam 19.00 malam.
- ❖ Limbah tersebut merupakan campuran dari limbah WC, kantin, dan kegiatan lain di asrama tersebut.
Sample limbah telah di test di laboratoriw-n dan hasilnya adalah: BOD = 340 mg/ltr dan COD = 630 mg/ltr
- ❖ Hydraulic retention time (HRT) ditentukan sebesar 18 jam.
- ❖ Sedangkan pimpinan asrama menetapkan interval pengurasan (*desludging interval*) adalah sekali setiap tahun atau sekali setiap 12 bulan.
- ❖ Data lain yang sebenarnya harus diteliti adalah ratio SS/COD terendap (*settleable SS/COD ratio*). Ratio ini sangat diperigaruhi dari jenis limbah yang akan diolah.
Untuk berbagai ragam limbah domestik telah dilakukan banyak uji coba empiris di negara berkembang dan ratio SS/COD terendap tersebut lazimnya herkisar antara 0.35 - 0.45.
Karena itu gunakan saja pengalaman empiris tersebut. untuk kasus ini misalnya ditetapkan 0.42.

Output yang diharapkan untuk anda kerjakan:

- Berapa volume dan dimensi dari Septic tank yang diperlukan

untuk menangani limbah dari asrama tersebut ?

- Skets konstruksi dari septic tank tersebut ?
- Perkiraan kualitas dari effluent ?

Perhitungan :

Pengolahan limbah akan melibatkan proses fisika (misalnya pengendapan, *settling*, pemisahan) dan juga proses biologis serta kimiawi yang amat kompleks. Dalam hal ini faktor yang mempengaruhi proses tersebut amat banyak dan tidak dapat dihitung secara eksak seperti perhitungan aljabar.

Karena itu dianjurkan untuk menggunakan kaidah dan pengalaman empiris yang telah dikembangkan oleh ahli ahli yang berkecimpung dalam masalah ini dengan tetap peka terhadap faktor faktor lain yang sifatnya site spesifik.

- ❖ Dari data diatas maka Flow rate = 13/12
= 1.08 m³/jam
- ❖ Seperti telah disinggung diatas proses utama yang terjadi dalam sistem septic tank adalah pengendapan (*settling*).
- ❖ Selama pengendapan ini terjadi pengurangan (*removal*) dari organic load.

Dengan HRT 18 jam, dari grafik empiris diatas didapatkan faktor pengali kira kira 0.5.

Maka COD removal rate dihitung = 0.42 (ratio SS/COD) dibagi angka 0.6 dan dikalikan faktor pengali tsb.

(angka 0.6 adalah faktor yang didapat dari pengalaman)

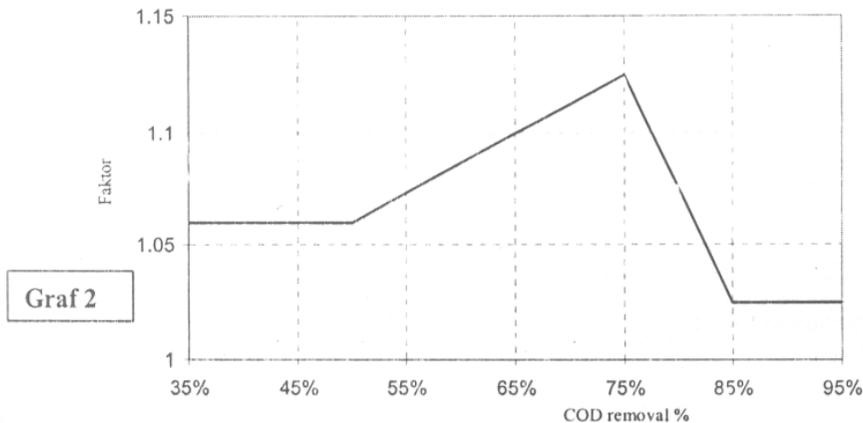
$$= (0.42/0.6) \times 0.5$$

$$= 0.35 \text{ atau } 35\%$$

Maka kadar COD dari effluent = (1-0.35) x 630

$$= 409.5 \text{ mg/l}$$

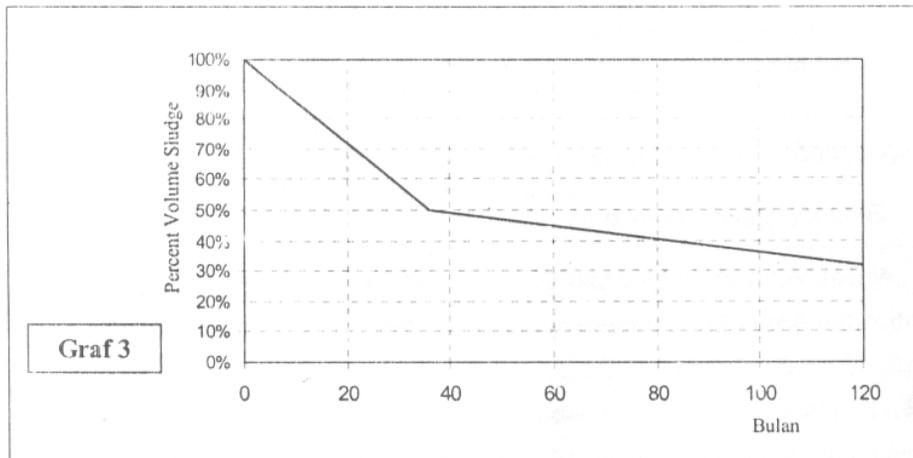
- ❖ Pengurangan BOD selama pengolahan limbah pada septic tank tidak linear dengan pengurangan COD. Untuk limbah domestik hubungan empiris dapat dilihat pada grafik ini



Dari grafik terlihat bahwa COD removal 35% maka diperoleh faktor = 1.06. Maka pengurangan BOD (BOD removal) = $1.06 \times \text{COD removal} = 1.06 \times 35\% = 37.1\%$

Karena itu perkiraan kadar BOD effluent = $(100\% - 37.1\%) \times 330 = 207.5 \text{ mg/ltr}$

Berikutnya adalah langkah untuk perhitungan volume dan dimensi septic tank. Yang harus diingat disini adalah volume yang dibutuhkan untuk menampung limbah selama hydraulic retention time yang kita inginkan dan juga volume yang dibutuhkan untuk menampung lumpur yang terjadi. Misalnya Limbah yang masuk mempunyai kadar BOD sebesar A sedangkan yang keluar BOD nya sudah berkurang menjadi B. Selisih (A-B) inilah yang yang diendapkan dalam septic tank dan menjadi lumpur/sludge. Pertanyaannya adalah setiap kg BOD tsb menjadi lumpur berapa liter ? Pertanyaan berikutnya adalah apakah lumpur tsb bila disimpan cukup lama tidak termampatkan hingga volumenya berkurang ? Lumpur bila disimpan dalam waktu yang cukup lama akan termampatkan dan berkurang volumenya dan percobaan empiris untuk limbah domestik menghasilkan grafik dibawah ini:



Dari grafik diatas maka untuk desludging interval 12 bulan (sekali setahun) akan diperoleh faktor 83%.

Sebagai patokan tanpa efek pemampatan karena penyimpanan, volume dar sludge yang terjadi dari 1 gram BOD adalah 0.005 liter. Istilahnya adalah Sludge ltr/gram DOD removal = 0.005 Tetapi dalam kasus ini akan terjadi pengurangan volume karena periode pengurasan (desludging interval) adalah 12 bulan. Karena itu = 83% x 0.005 = 0.0042 ltr/gr BOD rem Patokan untuk perhitungan Volume Septic tank adalah:

*Selama periode pengurasan (desludging interval) yang dicanangkan Total akumulasi endapan sludge/lumpur **jangan sampai lebih dari 50% (separo)** dari volume konstruksi.*

Bila tidak maka proses tidak akan bedalan seperti yang diharapkan dan malahan bisa terjadi berbagai masalah yang akan sangat merepotkan

Marilah ditinjau satu demi satu:

❖ Volume sludge yang akan terjadi adalah:

$$= 0.042 \times (330 - 207.5)/1000 \times 12 \text{ bin} \times 30 \text{ hr} \times 13$$

$$= 2.4 \text{ m}^3$$

Ingat volume sludge ini tidak terjadi sekaligus tetapi tumpukan selama 12 bulan sesuai dengan desludging interval yang kita inginkan.

- ❖ Karena hydraulic retention time (HRT) yang ditetapkan adalah 18 jam dan flow rate nya adalah 1.08 m³/jam, maka volume yang dibutuhkan untuk menginapkan limbah selama 18 jam tersebut adalah:

$$= 18 \times 1.08$$

$$= 19.44 \text{ m}^3$$

- ❖ Bayangkan pada setelah hampir satu tahun maka kapasitas yang dibutuhkan agar sistem tetap bekerja dengan baik adalah:

$$= 2.4 + 19.44$$

$$= 21.84 \text{ m}^3 \text{ untuk mudahnya disebut A}$$

- ❖ Sesuai data diatas jumlah limbah setiap hari nya adalah 13 m³ Karena HRT ditetapkan 18 jam (padahal satu hari adalah 24 jam) maka untuk menginapkan selama 18 jam dibutuhkan volume sebesar:

$$= 13 \times 18/24$$

$$= 9.75 \text{ m}^3$$

Diatas telah disebut bahwa total akumulasi lumpur dan limbah jangan sampai lebih dari separo konstruksi.

Maka = 2 x 9.75 m³ = 19.5 m³ untuk mudahnya disebut B

- ❖ Bila $A < B \rightarrow$ cukup dipakai volume B untuk desain
Tetapi bila $A > B \rightarrow$ dianjurkan memakai volume A untuk desain

- ❖ Dalam kasus ini $A > B$, maka volume desain septic tank adalah **21.84 m³**.

Bagian atas tembok kira kira harus 15 a 20 cm lebih tinggi dari muka air, atau volume keseluruhannya ditambah kira kira 10%

Karena itu volume keseluruhan kira-kira 23.5 m³.

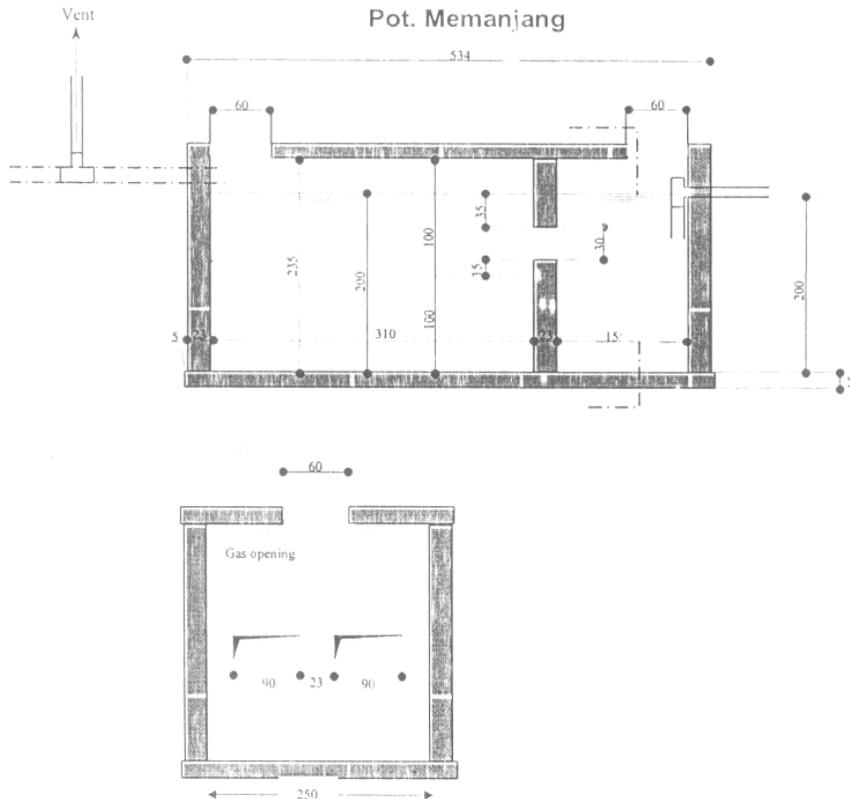
Untuk kasus ini lahan tidak menjadi masalah dan lebar bagian dalam dari septic tank tersebut ditetapkan 2.5 meter.

Sedangkan kadalaman minimum (moncong outlet) ditetapkan 2 meter.

Berdasarkan hal tsb maka:

Panjang bak pertama (chamber 1) = 3.1 mtr

Skets dari septic tank yang anda desain menjadi sbb:



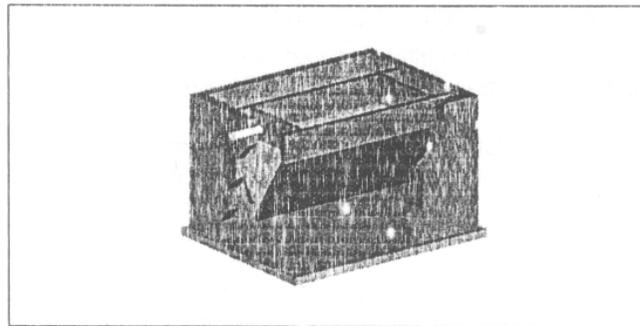
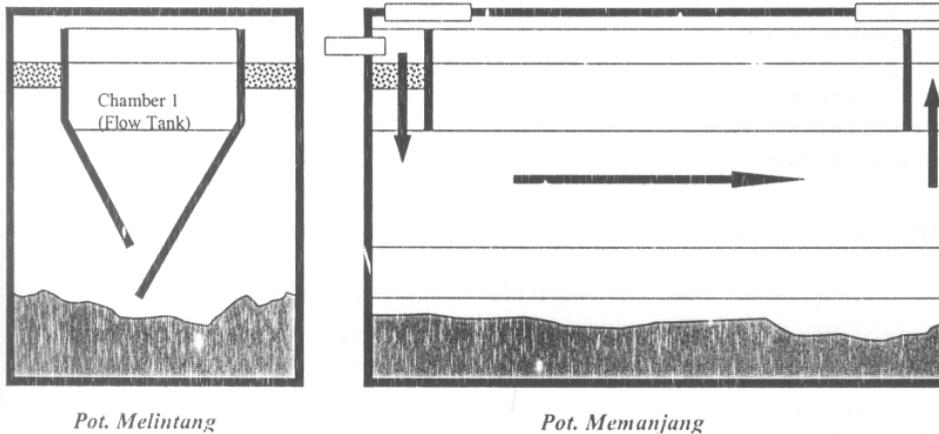
2. Imhoff Tank

Prinsip kerja dan proses yang terjadi pada Imhoff tank mirip dengan yang terjadi pada Septic tank, ialah pengendapan dan dilanjutkan dengan stabilisasi lewat proses anaerobik.

Pada intinya Imhoff tank dikembangkan untuk menanggulangi berbagai masalah yang timbul pada septic tank.

Misalnya effluent dari septic tank masih bau karena kemungkinan terjadinya kontak antara limbah yang baru masuk dengan sludge/lumpur.

Pada Imhoff tank hal tersebut dihindari dengan memisahkan limbah yang masuk dan endapan lumpur yang terjadi. Pemisahan tersebut dilakukan dengan membuat konstruksi tirus (*funnel type*) seperti pada sketsa dibawah.



Gambar 7.33. Imhoff tank

Tetapi disamping kelebihan yang telah diuraikan diatas, kelemahan dari Imhoff tank adalah konstruksinya yang lebih rumit.

Akibatnya untuk konstruksi yang kecil (kurang dari 4 m³ per hari) tidak dimungkinkan karena ruang pemisah akan menjadi kecil dan sulit untuk pembersihan.

Seperli pada septic tank, didalam Imhoff tank akan terjadi lapisan sludge/lumpur di bagian bawah, scum di bagian atas dan supernatant.

Efficiency nya juga hampir sama dan berkisar antara 25% - 50% COD removal.

Kriteria desain dan langkah perencanaan untuk Imhoff Tank

Terdapat beberapa patokan yang perlu diperhatikan dalam desain Imhoff tank, diantaranya adalah:

- Chamber2 Atau kompartemen2 yang terletak dibagian atas (bagian yang tirus) harus di desain untuk minimum 2 jam HRT pada Peak Flow.
- Sedangkan hydraulic load nya harus kurang dari 1.5 m³/jam per m² luas area permukaan dari chamber2.

Untuk mempermudah pemahaman didalam merencanakan maka uraian design criteria dan langkah perencanaan diuraikan dalam bentuk contoh kasus.

Kasus 1.

Data:

JICA akan membantu untuk membuat pusat pelatihan dan asrama bagi pendidikan non formal. Para siswa akan tinggal di dalam asrama dan disamping itu juga akan ada kantin dan unit pelatihan untuk teknologi makanan dimana para siswa akan diajarkan membuat keju dan fondu.

Setelah dihitung jumlah limbah yang akan dihasilkan adalah 25 m³ per hari. Setelah dilakukan pengamatan ternyata limbah tersebut mengalir selama rata rata 12 jam, ialah dari jam 7.00 pagi sampai jam 19.00 malam.

Disamping peralatan untuk proyek Langit Biru, kebetulan Swiss contact mempunyai peralatan testing untuk air limbah. Dari hasil testing ternyata limbah tersebut mempunyai BOD = 340 mg/ltr dan COD = 630 mg/ltr

Seperti telah disinggung diatas Hydraulic retention time (HRT) pada chamber 1 atau flow tank minimum adalah 1.5 jam.

Sedangkan pimpinan proyek menetapkan interval pengurasan (desludging interval) adalah sekali setiap tahun atau sekali setiap 12 bulan. Karena interval pengurasan yang lebih sering dianggap merepotkun.

Data lain yang sebenarnya harus diteliti adalah ratio SS/COD terendap (settleable SS/COD ratio). Ratio ini sangat dipengaruhi dari jenis limbah yang akan diolah.

Untuk berbagai ragam limbah domestik telah dilakukan banyak uji coba empiris di negara berkembang dan ratio SS/COD terendap tersebut lazimnya berkisar antara 0.35 – 0.45.

Karena itu untuk kasus ini perencana menetapkan ratio sebesar 0.42

Informasi lain adalah sistem pengolahan yang diminta harus Imhoff Tank, berhubung si pimpro bernama tuan Bierhoff. Jadi agar mirip namanya maka dia menetapkan harus pakai Imhoff tank.

Output yang diharapkan untuk anda kerjakan:

- Berapa volume dan dimensi dari Imhoff tank yang diperlukan untuk menangani limbah dari pusat pelatihan tersebut ?
- Skets konstruksi dari Imhoff tank tersebut ?
- Perkiraan kualitas dari effluent ?

Perhitungan :

- Q Flow rate = $25/12$
= 2.08 m³/jam

- HRT path flow tank = 1.5 jam

Mungkin timbul pertanyaan mengapa HRT hanya 1.5 jam ? Pada sistem Imhoff tank tujuan dari chamber 1 dibagian atas (yang dikenal dengan sebutan flow tank) hanyalah sekedar sebagai sarana agar bahan padat (suspended solid) mengendap untuk kemudian terperosok kedalam chamber 2 dan seterusnya di stabilisasi kan lewat proses anaerobik. Untuk sekedar fungsi tersebut maka HRT tidak perlu lama.

Lihat Graf 1 : Dengan HRT sebesar 1.5 jam maka akan diperoleh faktor pengali sebesar 0.32

Formula untuk menghitung COD removal rate =

$$\begin{aligned} & (\text{Ratio SS/COD terendap}/0.5) \times \text{faktor pengali} \\ & (0.42/0.5) \times 0.32 \\ & 0.27 \text{ atau } 27\% \end{aligned}$$

(Perbedaan dengan septic tank adalah pada angka pembagi, pada septic tank = 0.6 sedang pada Imhoff tank = 0.5)

$$\begin{aligned} \text{Maka kadar COD dari effluent} &= (1-0.27) \times 630 \\ &= 460 \text{ mg/lit} \end{aligned}$$

- Seperti pada septic tank maka penurunan BOD (BOD removal) tidak sama dengan penurunan COD.

Lihat Graf 2 : Untuk COD removal kurang dari 50% diperoleh faktor pengali sebesar 1.06.

$$\text{Maka BO}[\text{)] removal rate} = 1.06 \times 27\% = \mathbf{28.62\%}$$

Dengan demikian kadar BOD dari effluent = $(1-0.2862) \times 330$
= **235.5 mg/ltr**

- Volume dari flow tank (atau chamber1) adalah Peak flow rate dari limbah dikalikan HRT pada flow tank :
= $2.08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1.5 \text{ jam}$
= 3.13 m^3

Dari sini anda sudah bisa mulai merenka-reka model dan ukuran flow tank. Misalnya anda tetapkan lebar flow tank = 1.3 meter dan ukuran lain lihat Dada skets dibawah ini.

Berikutnya adalah menghitung volume chamber 2. Pada intinya chamber 2 tidak lain hanyalah bak untuk menyimpan bahan padat tersuspensi (suspended solid) yang mengendap.

Pendek kata anggap saja sebagai gudang untuk menyimpan. Karena itu voiumenya tergantung pada volume barang yang akan disimpan dalam periode tertentu (selama periode desludging interval).

Seperti pada septic tank percent pemampatan sludge bila disimpan dapat dilihat pada Graf 3.

Untuk desludging interval 12 bulan diperoleh faktor 83%.

Maka volume sludge (dim liter) dibanding BOD removal setiap gram nya adalah = $0.005 \times 83\%$

$$0.0042$$

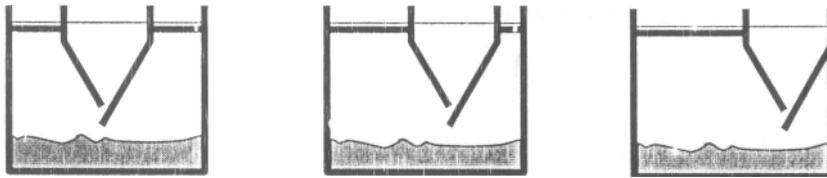
Jumlah sludge selama periode pengurasan (desludging interval) dengan demikian menjadi = $12 \times 30 \times 25 \times 0.0042 \times (330 - 235.5) / 1000$
= **3.6 m³**

Selanjutnya anda perlu menetapkan lebar dari bak chamber 2

Dalam hal ini patokannya adalah sedemikian hingga lebih lebar dari flow tank dan agar orang masih bisa bekerja dengan mudah (khususnya pada waktu desludging seperti memasukkan alat penyedot, dlsb).

Jarak (gab) agar memungkinkan pekerjaan desludging masih dapat dilakukan dengan praktis adalah minimum 55 cm.

Jarak (gab) tersebut bisa berbeda antara bagian kiri dan kanan, karena pada kenyataannya hanya dibutuhkan satu sisi saja untuk pekerjaan desludging dan operational pada umumnya. Dengan kata lain penempatan flow tank tidak harus ditengah tengah. Beberapa kombinasi dapat dilihat pada skets dibawah:



Untuk kasus ini misalnya kita memilih model yang kedua; dan jarak antara dinding flow tank ke satu bagian kita berikan 0.55 meter dan yang lainnya hanya 0.25 meter.

Maka total lebar (bag dalam) dari konstruksi Imhoff tank ini adalah:

$$\begin{aligned}
 &= 0.55 + 1.3 + 0.25 + 2 \times 0.07 \text{ (7 cm adalah tebal dinding flow tank)} \\
 &= 2.24 \text{ meter.}
 \end{aligned}$$

Sungguhpun jumlah sludge yang akan terbentuk selama setahun (dengan kondisi seperti sesuai dengan karakteristik limbah yang akan diolah hanyalah 3.6 m^3), tetapi tidak mungkin anda membuat ukuran chamber 2 persis seperti volume tersebut.

Karena timbunan sludge tersebut harus terletak dibawah sedemikian hingga tidak menutup moncong dari flow tank.

Maka langkah berikutnya adalah memperkirakan tinggi dari timbunan sludge tersebut.

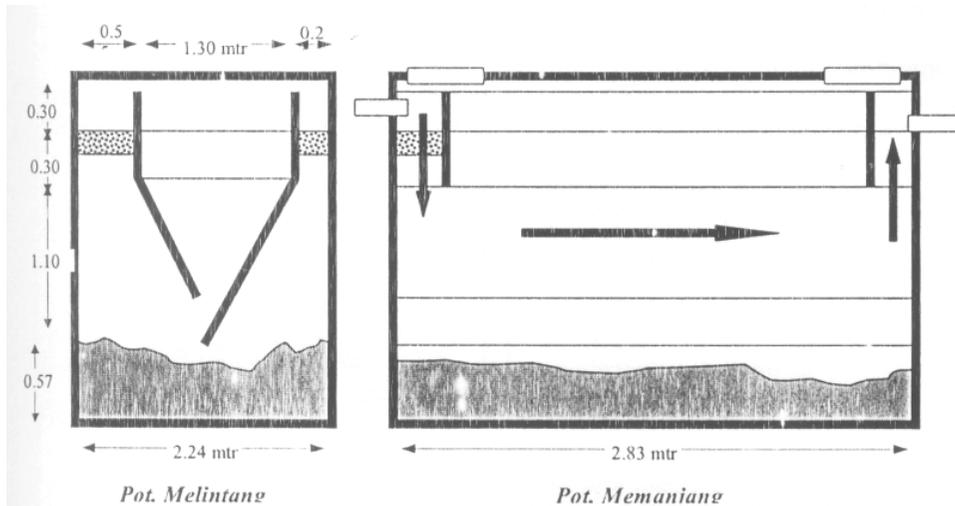
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dari timbunan sludge} &= \text{Volume sludge/luas} \\
 &= 3.6 / (2.24 \times 2.83) \\
 &= 0.57 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dengan kata lain selama 12 bulan (*interval desludging*) timbunan lumpur yang akan terjadi tebalnya adalah 0.57 meter.

Ketinggian Imhoff tank (sampai posisi pipa outlet) menjadi :

$$\begin{aligned}
 &= 0.57 \text{ meter (tinggi sludge)} + 1.1 \text{ meter} + 0.3 \text{ meter} + 0.3 \\
 &\quad \text{meter (freeboard)} \\
 &= 2.27 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian skets teknis dari rencana Imhoff Tank untuk pusat pelatihan tsb adalah sbb:

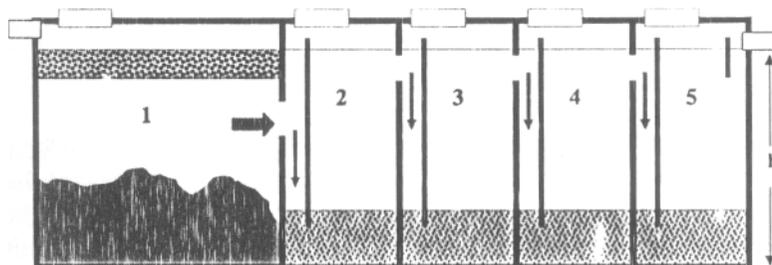


3. Baffle Septic Tank

Seperti telah disinggung didepan, septic tank biasanya terdiri dari 2 bagian (chamber). Tetapi bila anda inginkan bisa juga dibuat menjadi lebih banyak chamber (misalnya 3, 4 atau 5 chamber). Tetapi sungguhpun dibuat menjadi banyak ruang, proses yang terjadi tetap sama ialah sekedar pengendapan (*settling*).

Tetapi yang dimaksud dengan sistem septic tank susun (juga dikenal dengan sebutan baffled septic tank atau baffled reactor) bukan sekedar septic tank yang ditambah kotak chambemya.

Karena proses yang terjadi dalam sistem septic tank susun adalah berbagai ragam kombinasi proses anaerobik hingga hasil akhirnya lebih baik. Pada intinya bentuk septic tank susun atau baffled reactor adalah sbb:



Gambar 7.33. Baffle Septic Tank

Di ruang pertama proses yang terjadi ialah proses settling (sama seperti yang terjadi pada septic tank). Pada ruang berikutnya proses penguraian karena kontak antara limbah dengan akumulasi microorganism dengan pola fluidized bed (hampir mirip dengan proses yang terjadi pada UASB).

Baffled reactor yang baik mempunyai minimum chamber sebanyak 4 buah. Variabel yang penting dan harus benar benar diperhatikan dalam design adalah waktu kontak yang ditunjukkan dengan kecepatan aliran keatas (*uplift* atau *upstream velocity*) didalam chamber 2-5.

Bila terlampaui cepat maka proses penguraian tidak terjadi dengan semestinya dan malahan konstruksi yang anda buat percuma saja. Kecepatan aliran uplift ini jarrgan lebih dari 2 m/jam. Untuk HRT tertentu uplift velocity ini tergantung dari luas penampang (panjang dan lebar). Dalam hal ini faktor tinggi (kedalaman chamber) tidak berpengaruh atau tidak berfungsi sebagai variabel dalam design. Dengan kata lain mbok dalamnya dibuat berapa saja ..ndak ada pengaruhnya.

Konsekwensinya model bak yang dibutuhkan adalah yang penampangnya luas tetapi dangkal. Karena itu sistem ini relatif membutuhkan lahan yang luas hingga kurang ekonomis untuk unit besar. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa penelitian mengenai sistem baffled reactor masih sedikit dibandingkan penelitian sistem lain.

Tetapi untuk unit kecil atau menengah baffled septic tank cukup ideal. Lebih lebih goncangan hydraulic dan organic load tidak begitu mempengaruhi unjuk kerja sistem ini.

Variabel design berikutnya adalah hubungan antara panjang (L) dengan tinggi (h). Agar limbah yang masuk terdistribusi secara merata maka dianjurkan L antara **0.5 - 0.6** dari h.

Dengan demikian sungguhpun h tidak ada pengaruhnya terhadap uplift velocity (seperti telah disebut diatas), tetapi ratio antare h dan L perlu diperhatikan agar distribusi limbah bisa merata dan kontak dengan microorganism efisien. Variabel design yang lain adalah HRT (*hydraulic retention time*) pada bagian cair (diatas lumpur) pada baffle reactor minimum harus 8 jam.

Agar lebih jelas marilah disimak kasus dan perhitungan dibawah ini.

Kasus I

Limbah yang akan ditangani jumlahnya 25 m³ per hari. Mengalir dalam waktu 12 jam setiap harinya. COD nya sama dengan contoh lain ialah 633 mg/ltr. BOD nya adalah 333 mg/ltr.

HRT pada septic tank (sebenarnya lebih cocok disebut settler atau chamber 1) adalah 1.5 jam. Sedangkan desludging period ditetapkan 1.5 tahun sekali (atau 18 bulan). Limbah yang ditangani adalah limbah domestik dan ditetapkan ratio SS terendapkan/COD adalah 0.42 mg/ltr / mg/ltr.

Sistem yang akan dipakai adalah baffled reactor

Hitunglah ukuran dari baffled reactor dan skets konstruksinya.

Perhitungan:

- Flow rate = $25/12 = 2.08$ m³/jam
- Untuk menghitung pengurangan COD karena pengendapan lihat Graf 1
Untuk HRT 1.5 jam diperoleh faktor = **0.325**
COD removal pada settling = $(0.42/0.6) \times 0.325$
= **0.23** atau **23%**
- Selanjutnya lihat **Graf 2**
Dari grafik ini akan diperoleh faktor BOD/COD removal pada proses pengendapan sebesar 1.06
BOD removal pada settling = $1.06 \times 23\%$
= **24%**
- Kandungan COD dan BOD yang masuk ke baffled reactor adalah sbb:
COD = $(1-0.23) \times 633 = 489$ mg/ltr
BOD = $(1-0.24) \times 333 = 253$ mg/ltr
- Langkah berikutnya marilah kita hitung volume endapan dan ukuran yang dibutuhkan.
Karena desludging interval ditetapkan = 18 bulan, maka dari **graf 3** akan diperoleh faktor 72%. Angka ini merupakan faktor reduksi

dari volume sludge karena di tando selama 18 bulan.

Sebagai patokan tanpa efek pemampatan karena penyimpanan, volume dari sludge yang terjadi dari 1 gram BOD adalah **0.005** liter.

Istilah nya adalah Sludge ltr/gram BOD removal = **0.005**

Karena itu = 72% x 0.005 = **0.0036** ltr/gr BOD rem

- ✓ Volume sludge yang akan terjadi adalah:
= 0,0036 x (333 – 2530 / 1000 X 18 bln x 30 hr x 25
= 3,88 m³

ingat volume sludge ini tidak terjadi sekaligus tetapi tumpukan selama 18 bulan sesuai dengan desludging interval yang kita inginkan.

- ✓ Karena hydraulic retention time (HRT) yang ditetapkan adalah 1.5 jam dan flow rate nya (peak) adalah 2.08 m3/jam, maka volume yang dibutuhkan untuk menginapkan limbah selama 1.5 jam tersebut adalah:

$$= 1.5 \times 2.08$$
$$= \mathbf{3.12} \text{ m}^3$$

- ✓ Bayangkan pada setelah hampir 1.5 tahun sesuai dengan desludging interval yang ditetapkan, maka kapasitas yang dibutuhkan agar sistem tetap bekerja dengan baik adalah:

$$= 3.88 + 3.12$$
$$= 7 \text{ m}^3 \dots\dots\dots \text{ untuk mudahnya disebut A}$$

- ✓ Sesuai data diatas jumlah limbah setiap hari nya adalah 25 m³ Karena HRT ditetapkan 1.5 jam (padahal satu hari adalah 24 jam) maka untuk menginapkan selama 1.5 jam dibutuhkan volume sebesar:

$$= 25 \times 1.5/24 = \mathbf{1.56} \text{ m}^3$$

Diatas telah disebut bahwa total akumulasi lumpur dan limbah jangan sampai lebih lebih dari separo konstruksi.

Maka = 2 x 1.56 m³ = **3.12** m³ untuk mudahnya disebut B

- ✓ Bila A < B → cukup dipakai volume B untuk desaiin

Tetapi bila A > B → dianjurkan memakai volume A

Dalam kasus iri A > B, maka volume desain *septic tank** adalah 7 m³.

* = sebenarnya istilah ini agak salah kaprah karena keseluruhan sistem ini disebut baffled septic tank. Dalam

hal ini yang dimaksud adalah chamber pertama atau settler atau pengendap.

Misalnya lebar dari settler ditetapkan 2 meter dan kedalamannya 1.5 meter.

$$\begin{aligned} \text{Maka panjang dari settler/ pengendap} &= 7/(2 \times 1.5) \\ &= 2.33 \text{ m dibulatkan } 2.4 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikutnya langkah langkah untuk menghitung baffled reactor. Seperti telah disebut diatas salah satu variable design dalam menghitung baffled reactor adalah uplift velocity yang dalam hal ini jangan lebih dari 2 m/jam. Bila lebih dari 2 m/jam maka percuma saja anda membuat baffled reactor karena proses yang terjadi hanya sekedar sebagai settling.

Dalam kasus ini misalnya anda menetapkan uplift velocity = 1.8 m/jam Variabel design yang lain adalah minimum jumlah chamber untuk baffled reactor adalah 4 buah. Dalam kasus ini misalnya anda tetapkan 5 buah. Berikutnya yang perlu anda tetapkan adalah kedalaman air pada outlet dari baffled reactor. Biasanya penetapan ini dipengaruhi oleh situasi dari lokasi dimana anda membuat konstruksi ini. Dalam kasus ini misalnya ditetapkan bahwa kedalaman pada outlet = 1.5 meter.

Variabel design yang berikutnya (lihat ulasan diatas) adalah panjang (L) adalah 0.5 — 0.6 dari dalam (h).

Dalam kasus ini misalnya anda tetapkan 0.5; maka panjang = 0.75 meter Luas area untuk satu chamber = Flow rate/uplift velocity

$$\begin{aligned} &= 2.08/1.8 \\ &= 1.16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas area = panjang x lebar

$$\begin{aligned} \text{Maka lebar dari chamber baffled reactor} &= 1.16/0.75 \\ &= \mathbf{1.54} \text{ meter} \end{aligned}$$

Konsekwensinya luas area untuk satu chamber = $2 \times 0,75 = 1,5 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Hingga uplift velocity menjadi} &= 2,08/1,5 \\ &= 1.39 \text{ m/jam (lebih baik)} \end{aligned}$$

Lebar lorong (istilah menterengnya adalah downflow shaft) pada baffled reactor terserah dari perencana, tetapi jangan lebih kecil dari 25 cm.

Bila lebih kecil dari itu akan sulit pada perawatan karena terlampau sempit. Dalam kasus ini misalnya anda tetapkan 25 cm

Maka volume total dari baffled reactor (termasuk volume lorongnya)

$$\begin{aligned} \text{adalah: } &= 5 \times (2 \times (0.75 + 0.25) \times 1.5) \\ &= 15 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk volume 15 m³ maka limbah yang masuk ke baffled reactor akan ngendon selama = $15 / (25 / 24)$
= 14.4 jam

Tetapi ingat bahwa sebagian ruang dalam baffled reactor akan ditempati oleh sludge dan pengalaman kira kira kan ada paling tidak 5% dari ruang tersebut yang ditempati oleh sludge

Karena itu HRT setelah di operasi kan kira kira adalah
= 14.4 - 5% nya
= 13.8 jam

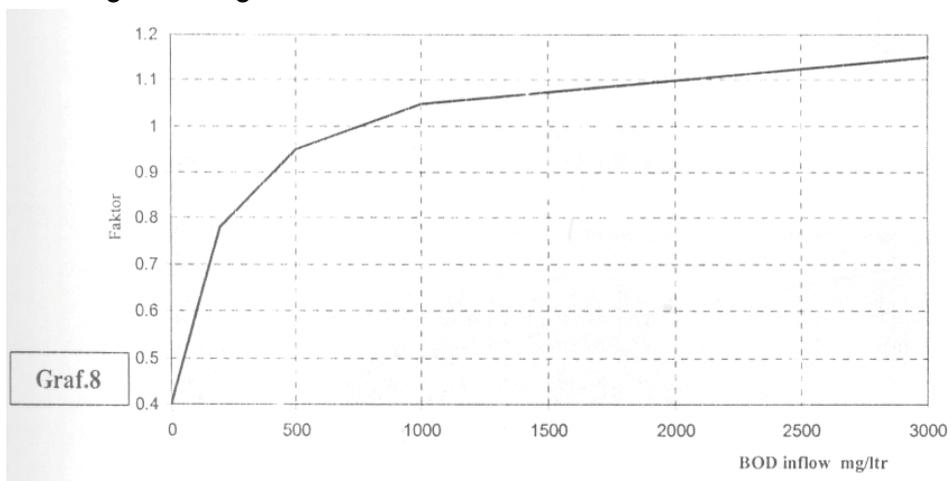
atau dibulatkan menjadi = 14 jam

Faktor faktor empiris untuk menghitung removal BOD pada baffled reactor adalah sbb:

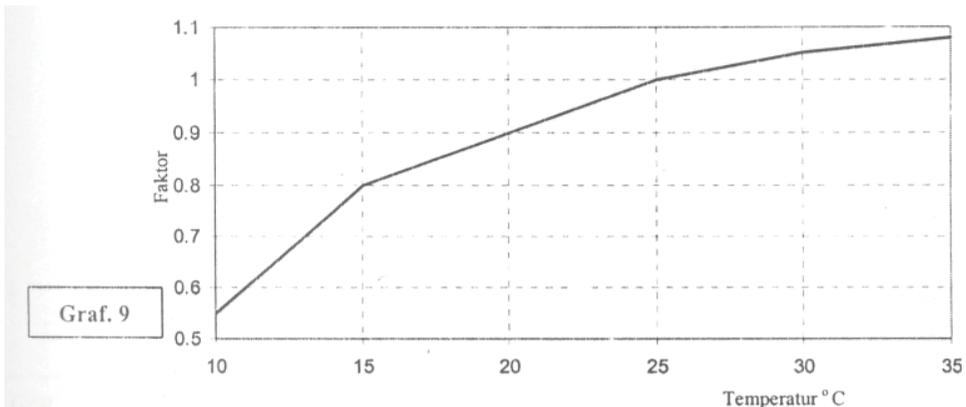
❖ Faktor akibat waste water strength.

Seperti telah disinggung diatas yang diartikan strength adalah tingkat kandungan organiknya. Dalam hal ini pengertian sederhana adalah kenyataan bahwasanya persen pengurangan akan lebih tinggi untuk kandungan BOD yang tinggi. Bila kandungan BOD nya rendah maka persen pengurangan akan lebih rendah.

Grafik empiris yang memberikan hubungan antara BOD removal dengan strength adalah sbb:



- ❖ Faktor yang diakibatkan oleh temperatur.
Untuk negara tropis seperti Indonesia faktor ini bisa diabaikan karena temperatur biasanya mencapai sekitar 25 s/d 30 C.
Hingga faktor yang diakibatkan oleh temperatur = 1.
Bila anda menjumpai situasi dengan temperatur yang tidak lazim maka hubungan empiris nya dapat dilihat pada grafik berikut:



- ❖ Faktor yang diakibatkan oleh jumlah dari uplift chamber.
Yang dimaksud dengan uplift chamber adalah bak baffled reactor. Bila jumlah bak ini lebih banyak akan diperoleh BOD removal yang lebih baik, karena intensitas kontak lebih tinggi hingga penguraian lebih baik. Seperti telah disinggung diatas jumlah bak baffled reactor minimum adalah 4 buah.

Dari grafik diatas untuk HRT 14 jam diperoleh faktor = 0.84

- ❖ Faktor terakhir yang mempengaruhi BOD removal dalam sistem baffled reactor adalah jumlah kg BOD untuk setiap m³ volume baffled reactor pada waktu keadaan peak flow rate.
Istilah yang lazim dipakai untuk issue ini adalah BOD overloading.
Mengapa kog hal ini dipermasalahkan ??
Jumlah limbah cair yang akan diolah setiap harinya bila mengalir dalam waktu singkat (misalnya hanya 1 jam) akan memberikan dampak yang berbeda dibandingkan bila dia mengalir selama 12 jam.

Bila diibaratkan seperti orang makan, maka orang yang "kelolotan" gara-gara dalam waktu singkat melalap jatah satu hari.

Dalam hal ini angkanya adalah:

$$= \text{Kadar BOD} \times \text{peak flow rate} \times 24/1000/\text{volume baffled reactor} = 0.84 \text{ Kg BOD per m}^3 \text{ per hari.}$$

$$= 0.84 \text{ Kg BOD/m}^3 \text{ hari}$$

Grafik empiris yang menunjukkan hubungan antara removal dengan BCD overloadina adalah:

Dari grafik tersebut akan diperoleh faktor = 1

$$\begin{aligned} \text{Dari faktor faktor diatas maka theoritical BUD removal yang dari} \\ \text{sistem yang anda desain adalah} &= 0.84 \times 1 \times 1.02 \times 0.84 \times 1 \\ &= 0.72 \text{ atau } 72\% \end{aligned}$$

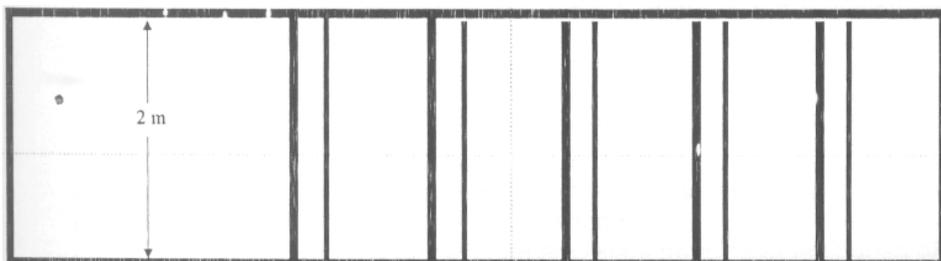
Kadang kadang dari dimansi yang anda buat, perhitungan theoritis diatas memberikan angka yang cukup indah misalnya sampai mendekati 100%. Tetapi dalam prakteknya tidak demikian. Karena itu bila menghadapi kondisi seperti itu BOD removal diambil 90% saja.

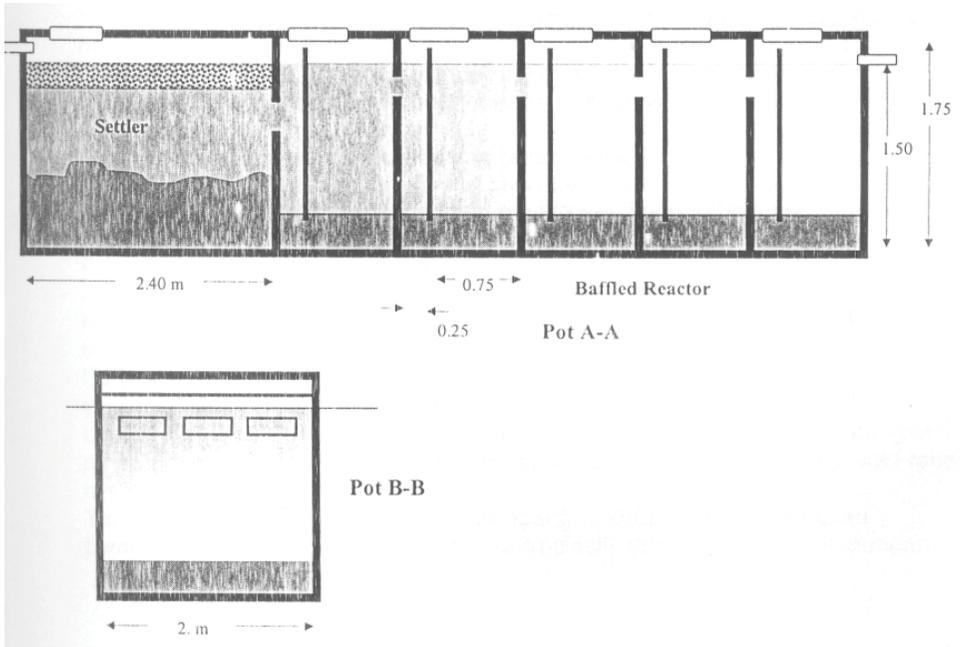
Menurut pengalaman angka 90% inilah yang maksimum dapat dicapai dalam realita praktek.

$$\begin{aligned} \text{Dengan demikian BOD effluent adalah} &= (1 - 0.72) \times 253 \\ &= 70 \text{ mg/ltr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hingga ditinjau secara keseluruhan sistem yang anda desain bisa} \\ \text{diharapkan untuk mengurangi BOD sebanyak} &= (1 - 70/333) \\ &= 79\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas skets konstruksi adalah sbb:





C. Anaerobic Filter

Pada sistem septic tank dan imhoff tank yang telah dibahas diatas proses yang terjadi adalah sedimentasi (pengendapan) dari bahan-bahan yang dapat terendapkan dan seterusnya terjadi proses digestion/penguraian dari bahan terendapkan tersebut.

Sedangkan kandungan yang masih terikut (tidak terendapkan) praktis tidak mengalami proses apapun.

Anaerobic Filter (atau dikenal juga dengan sebutan Fixed Bed atau Fixed Film Reactor) mempunyai prinsip yang berbeda dengan septic tank & imhoff tank, karena sistem ini justru diharapkan untuk memproses bahan-bahan yang tidak terendapkan dan bahan padat terlarut (dissolved solid) dengan cara mengkontakkan dengan surplus mikro organisme. Mikro organisme tersebut akan menguraikan bahan organik terlarut (dissolved organic) dan bahan organik yg terdispersi (dispersed organic) yang ada didalam limbah.

Sebagian besar mikro organisme (untuk selanjutnya disebut sebagai bakteri) tersebut cenderung tidak mobil. Artinya mereka tidak seperti singa yang lari kesana kemari than aktif untuk mencari makan, tetapi cenderung diam dan menunggu makanan yang di dekat kan kepadanya.

Bakteria ini cenderung menumpel pada dinding atau tempat lain yang permukaannya dapat digunakan untuk tempelan.

Karena itu yang dimaksudkan sebagai *filter* disini adalah media dimana bakteri dapat menempel dan limbah dapat mengalir/lewat diantaranya. Selama aliran ini kandungan organik akan diuraikan oleh berbagai bakteri dan hasilnya adalah pengurangan kandungan organik pada effluent.

Media yang digunakan bermacam-macam tetapi prinsipnya lebih luas permukaan akan lebih baik fungsinya. Misalnya koral, kerikil, plastik yang dibuat khusus sebagai media, ijuk, pasir, dlsb.

Media yang baik luas permukaannya (surface area) kira-kira 100 – 300 m² per m³ volume yang ditempatinya.

Dengan pola pikir itu maka kita cenderung untuk memilih media yang mempunyai surface area yang besar dengan harapan hasilnya akan baik sekali. Misalnya tepung arang, pasir, dlsb.

Tetapi biasanya media dengan butiran terlampau kecil akan memberikan performance yang baik beberapa hari saja. Seterusnya terjadi blocking diakibatkan oleh lapisan bakteria yang menempel dipermukaannya. Setelah terjadi blocking unjuk kerjanya malahan buruk sekali.

Padahal bila terjadi blocking, urusan membongkar dan membersihkannya merupakan pekerjaan yang paling menjengkelkan. Karena itu media harus sedemikian agar surface areanya cukup luas tetapi tidak sampai tersumbat / blocking / clogging.

Istilah teknisnya adalah media yang mempunyai SSA (specific surface area) yang luas dan VR (void ratio) yang tinggi.

Urusan media inilah yang kemudian di kutak katik oleh para ahli teknis dengan mencari bahan serta bentuk yang memberikan surface area luas tetapi void ratio nya tinggi.

Yang dihasilkan terus diberi nama perdagangan khusus untuk memukau pembeli. Misalnya ada bentuk seperti seng plastik yang di tekuk tekuk dengan model tertentu dan dibuat oleh perusahaan Jerman. Terus diberi nama Bioreactor made in Germany.

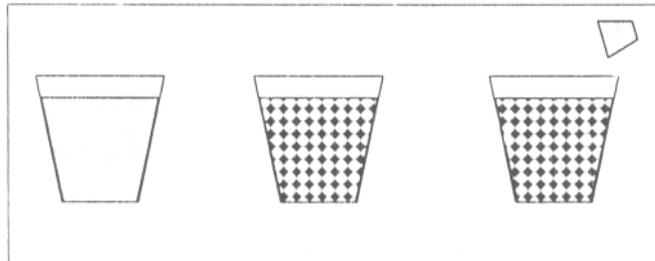
Ada juga model lain yang diberi nama Multiple-reactor buatan Jepang, dlsb. Pendek kata urusan nama boleh macam macam tetaai prinsip dasarnya sama. Bagi anda yang senang kutak-katik petunjuk dibawah ini mungkin bermanfaat:

❖ Cara menghitung void ratio.

Misalnya anda akan menggunakan kerikil dari dan Gunung Bromo untuk media anaerobik filter, karena konon kata orang ...sip sekali. Berapa sih void ratio dari kerikil tsb ?

Caranya adalah :

- ✓ Ambil ember.
- ✓ Isi ember tersebut dengan air, misalnya sampai 10 liter dan sampai 10 liter tsb beri tanda.
- ✓ Kosongkan ember.
- ✓ Masukkan kerikil
- ✓ Masukkan air dan sampai batas tanda tadi hitung berapa liter air yang masuk; misalnya 4 liter.
- ✓ Maka void ratio adalah $4/10 = 40\%$.



❖ Menghitung surface area.

Perhitungan surface area amat complex dan sangat terpengaruh oleh bentuk dari media. Disamping itu keteraturan (*regularity*) dari bentuk juga amat besar pengaruhnya.

Faktor lain yang mempengaruhi surface area adalah porositas dari media tsb. Secara teoritis bahan yang porositas nya tinggi akan memberikan surface area yang lebih besar.

Karena itu, untuk bentuk yang complex dan irregular perhitungan surface area lebih baik diserahkan kepada laboratorium material yang mempunyai sarana lengkap.

Tetapi untuk bentuk sederhana dan relatif teratur (atau dianggap teratur) contoh perhitungan dibawah ini dapat anda gunakan:

Misalnya: Kelereng dengan bentuk relatif teratur akan anda gunakan sebagai media.

Diameter kelereng in; adalah 3 cm

$$\begin{aligned} \text{Maka volume 1 kelereng adalah} &= \frac{1}{6} n d^3 \\ &= 14.13 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan kelereng} &= \pi d^2 \\ &= 28.26 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

Seperti contoh diatas misalnya anda masukkan kelereng tersebut kedalam ember 10 liter dan setelah diisi air lagi hanya bisa masuk sebanyak 4 liter

Maka void ratio adalah 40% dan volume sisanya merupakan volume dari media ialah 6 liter = 6,000 cm³

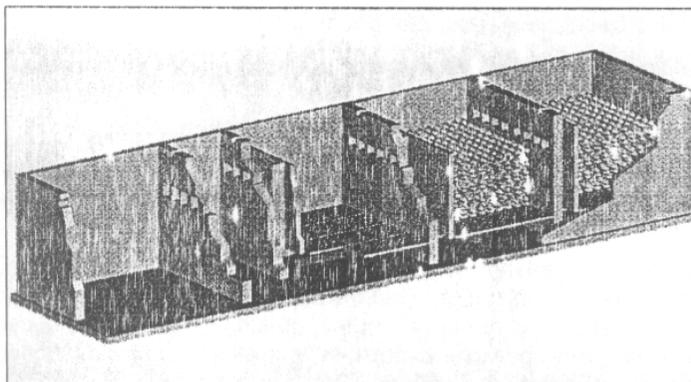
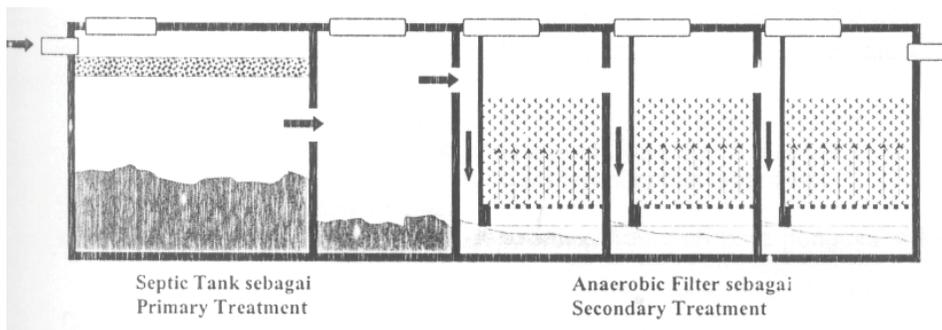
$$\text{Jumlah kelereng} = 6000/14.13 = 405 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Surface area nya adalah} &= 405 \times 28.26 \\ &= 11,445 \text{ cm}^2 \text{ per 10 liter} \end{aligned}$$

$$\text{atau} = 1,144,500 \text{ cm}^2/\text{m}^3$$

$$\text{atau} = 114.45 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Bila didesain dan di operasi kan dengan baik maka pengurangan (removal) BOD dengan anaerobik filter dapat mencapai 70% - 90%. Sistem ini cocok untuk menangani limbah domestik dan industri yang mempunyai TSS (total suspended solid) rendah. Disisi lain limbah (baik domestik atau lebih lebih limbah industri) tidak dapat terjamin TSS nya selalu rendah. Karena itu sistem anaerobik filter biasanya digunakan setelah proses pengendapan. Misalnya setelah septic tank, imhoff tank, dlsb. Hindari penggunaan sistem anaerobik filter secara tersendiri (*stand alone*) karena resiko blocking/clogging tinggi sekali. Dengan kata lain anaerobik filter sering digunakan sebagai treatment lanjutan atau sering juga disebut sebagai *secondary treatment*.



Gambar 7.34. Anaerobic filter

Seperti telah disinggung diatas, aktivitas penguraian pada anaerobik filter baru mulai terjadi setelah terbentuk surplus bakteri yang berkembang sebagai lapisan tipis (film) pada media. Untuk

mempercepat hal ini dapat mengambil bakteri dari septic tank dan mengumpulkannya pada media anaerobik filter.

Biar bagaimanapun unjuk kerja optimal dari anaerobik filter baru terjadi beberapa bulan setelah dioperasikan. Jadi jangan bahwasanya bermimpi begitu di operasi kan langsung memberikan hasil optimal.

Design criteria dan langkah perencanaan untuk Anaerobik Filter.

Seperti sistem yang telah diuraikan diatas, untuk mempermudah pemahaman didalam merencanakan maka uraian design criteria dan langkah perencanaan diuraikan dalam bentuk contoh kasus.

Kasus

Data: Anda diminta untuk membantu menanggulangi permasalahan limbah disuatu industri yang memproduksi makanan seperti biscuit

- Setelah dilakukan pengamatan jumlah limbah dari kegiatan tersebut adalah **25 m³/hari**.
- Setiap harinya kegiatan tersebut praktis hanya beroperasi selama 12 jam hingga mayoritas limbah hanya mengalir selama 12 jam setiap harinya.
- Sample limbah di teliti di laboratorium dan kadar BOD = 333 mg/IV dan kadar COD = 633 mg/ltr.
- Di laboratorium juga dilakukan uji coba pengendapan. Setelah limbah diendapkan diambil bagian yang tidak terendapkan dan di test COD nya. Lewat test ini direkomendasikan ratio SS terendapkan dibanding pengurangan COD adalah 0.42.
- Oleh pemerintah daerah limbah yang dihasilkan oleh para pengusaha kecil tersebut diharuskan untuk memenuhi standard yang telah ditetapkan. Untuk mencapai standard tersebut akan dipakai sistem anaerobik filter.

Dengan diskusi bersama rekan rekan anda, diputuskan hal-hal sbb:

- Resiko yang sangat mungkin terjadi pada Sistem anaerobik filter adalah terjadinya clogging pada media. Karena itu sebelum masuk ke anaerobik filter harus ada sarana untuk mengendapkan suspended solid.
- Sarana untuk mengendapkan suspended solid yang dipilih adalah sistem septic tank.

Karena tujuan pokok dari septic tank tersebut adalah untuk mengendapkan suspended solid maka hydraulic retention time (HRT) pada septic tank tidak perlu lama sekali. Maksudnya agar konstruksi menjadi lebih kecil dan hemat. Untuk ini ditetapkan HRT pada septic tank adalah 2 jam

- Disamping itu rekan rekan anda yang lama berkecimpung dalam urusan pengolahan limbah menyarankan agar desludging interval (interval pengurasan) harus cukup lama. Alasannya adalah kenyataan bahwa pengusaha kecil biasanya merupakan orang yang selalu sibuk hingga biasanya sering enggan untuk melakukan pengurasan secara periodik. Dengan pertimbangan ini ditetapkan desludging period adalah sekali setiap 3 tahun (atau 36 bulan).

Output yang diharapkan untuk anda kerjakan:

- Berapa volume dan dimensi dari kombinasi Septic tank dan Anaerobik Filter yang diperlukan.
- Perkiraan kualitas dari effluent ?
- Skets konstruksi dari Imhoff tank tersebut ?

Perhitungan :

Dari kondisi diatas perlu dilakukan perhitungan mengikuti alur proses treatment, dimulai dari primary treatment (ialah perhitungan septic tank) untuk kemudian dilanjutkan dengan secondary treatment (anaerobik filter).

- Peak flow = $25/12 = 2.08$ m³/jam
- Langkah berikutnya adalah menghitung pengurangan COD pada septic tank karena proses pengendapan.

Untuk ini sekali lagi lihat **Graf 1**

HRT pada septic tank = 2 jam. Dengan HRT sebesar 2 jam maka dari graf 1 diperoleh faktor pengali sebesar = 0.36

$$\begin{aligned} \text{Maka COD removal di S.T} &= (\text{ratio SS terendap}/ \\ &= (0.42/0.6) \times 0.36) \\ &= 0.25 \text{ atau } 25\% \end{aligned}$$

Angka empiris untuk septik tank = 0,6
Sedangkan untuk imhoff tank = 0.5

Dengan demikian kandungan COD yang keluar dari septik tank dan masuk ke anaerobik filter adalah $= (1-0.25) \times 633 = 475 \text{ mg/ltr}$

- Seperti pada perhitungan septik tank diatas, pengurangan BOD karena pengendapan tidak identik dengan pengurangan COD. Untuk ini lihat **Graf 2**.

Untuk COD removal kurang dari 50% diperoleh faktor = 1.06.

$$\begin{aligned} \text{Maka BOD removal di ST} &= 1.06 \times 25\% \\ &= 26\% \end{aligned}$$

Dengan demikian kandungan BOD yang keluar dari septik tank (artinya yang masuk ke anaerobik filter) $= (1-0.26) \times 333$
 $= 247 \text{ mg/ltr}$

- Selanjutnya marilah kita hitung dimensi dari septik tank. Karena desludging interval ditetapkan = 36 bulan, maka dari **graf 3** akan diperoleh faktor 50%. Angka ini merupakan faktor reduksi dari volume sludge karena di tando selama 36 bulan.

Sebagai patokan tanpa efek pemampatan karena penyimpanan, volume dar sludge yang terjadi dari 1 gram BOD adalah 0.00f, liter.

Istilah nya adalah Sludge ltr/gram BOD removal = 0.005

Karena itu $= 50\% \times 0.005 = \mathbf{0.0025}$ ltr/gr BOD rem

Selanjutnya lihat patokan untuk perhitungan septik tank yang telah diuraikan dibagian terdahulu.

- ✓ Volume sludge yang akan terjadi adalah:

$$\begin{aligned} &= 0.0025 \times (333 - 247)/1000 \times 36 \text{ bin} \times 30 \text{ hr} \times 25 \\ &= \mathbf{5.805} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Ingat volume sludge ini tidak terjadi sekaligus tetapi tumpukan selama 36 buian sesuai dengan desludging interval yang kita inginkan.

- ✓ Karena hydraulic retention time (HRT) yang ditetapkan adalah 2 jam dan flow rate nya adalah 2.08 m³/jam, maka volume yang dibutuhkan untuk menginapkan limbah selama 2 jam tersebut adalah:

$$\begin{aligned} &= 2 \times 2.08 \\ &= 4.16 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- ✓ Bayangkan pada setelah hampir 3 tahun sesuai dengan desludging interval yang ditetapkan, maka kapasitas yang dibutuhkan agar sistem tetap bekerja dengan baik adalah:

$$= 5.805 + 4.16$$

$$= 9.965 \text{ m}^3 \dots \text{ untuk mudahnya disebut A}$$

- ✓ Sesuai data diatas jumlah limbah setiap hari nya adalah 25 m³ Karena HRT ditetapkan 2 jam (padahal satu hari adalah 24 jam) maka untuk menginapkan selama 2 jam dibutuhkan volume sebesar:

$$= 25 \times 2/24$$

$$= 2.08 \text{ m}^3$$

Diatas telah disebut bahwa total akuinulasi lumpur dan limbah jangan sampai lebih lebih dari separo konstruksi.

Maka $= 2 \times 2.08 \text{ m}^3 = 4.16 \text{ m}^3 \dots\dots$ untuk mudahnya disebut B

Bila $A < B \rightarrow$ dipakai volume B untuk desain

Tetapi bila $A > B \rightarrow$ dianjurkan memakai volume A

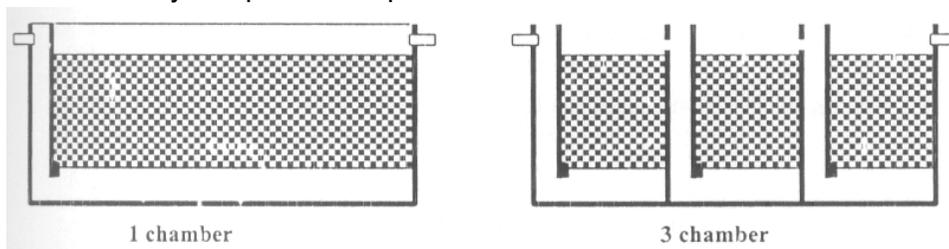
Dalam kasus ini $A > B$, maka volume desain septic tank adalah **9.965 m³** atau dibulatkan menjadi **10 m³**.

Sampai sini urusan perhitungan volume septic tank (primary treatment) selesai dan dibawah mulai menginjak urusan perhitungan anaerobik filter (secondary treatment).

- Untuk anaerobik filter misalnya anda akan menggunakan media tertentu. Specific surface area dari media tsb adalah **100 m²/m³** Sedangkan void ratio = **35%**
- HRT (hydraulic retention time) pada anaerobik filter berkisar antara 1 – 2 hari (24 – 48 jam). Angka ini merupakan patokan umum mengingat proses degradasi pada proses anaerobik lebih lambat dibanding proses aerobik. Untuk kasus ini misalnya HRT ditetapkan selama 30 jam.
- Faktor faktor empiris yang digunakan untuk memperhitungkan penguraian pada sistem anaerobik filter adalah sbb:

Dalam kasus yang sedang anda garap HRT nya adalah 30 jam, dan dari grafik diatas akan diperoleh faktor = 69%

Variabel lain yang diperoleh dari pengalaman konstruksi anaerobik filter adalah jumlah chamber (atau jumlah bak), jumlah bak yang lebih banyak (sungguhpun volume efektifnya sama) ternyata memberikan efisiensi penguraian yang lebih tinggi. Contohnya dapat dilihat pada skets dibawah:



Dibagi bagi menjadi beberapa chamber ternyata memberikan tambahan efisiensi kira-kira sebesar 4% per chamber nya. Tetapi kebalikannya jangan anda terlampau ambisius dengan membagi menjadi chamber yang banyak sekali. Bila terlampau banyak ukuran akan menjadi kecil sekali dan pengerjaannya akan sulit.

Untuk kasus yang sedang anda kerja kan rencana akan dibagi menjadi 3 chamber.

- ❖ Pengurangan COD (COD removal) dihitung sbb:

$$= F \text{ temp} \times F \text{ strength} \times F \text{ sa} \times F \text{ HRT} \times (1+(3 \times 0.04))$$

$$= 1 \times 0.91 \times 1 \times 0.69 \times (1+0.12)$$

$$= 0.70$$

Bila hasil diatas < 0.9 maka gunakan hasil tsb untuk perhitungan anda. Tetapi bila > 0.9 maka gunakan angka 0.9 sebagai upper ceiling untuk COD removal factor dalam sistem anaerobik filter.

Untuk kasus ini hasil diatas < 0.9

- ❖ Dengan demikian kadar COD setelah lewat anaerobik filter (effluent) adalah: $= (1-0.7) \times 475$

$$= \mathbf{142 \text{ mg/ltr}}$$

Berarti total pengurangan COD (septik tank/primary treatment dari

anaerobik filter/secondary treatment) = 78%

- ❖ Untuk memperkirakan hubungan BOD removal dengan COD removal sekali lagi buka **Graf.2**

Untuk COD removal 70% akan diperoleh faktor 1.1

Dari sini dapat diperkirakan BOD removal untuk seluruh sistem (septik tank dan anaerobik filter) adalah = $1.1 \times 78\%$
= **85%**

Kandungan BOD effluent dengan demikian adalah:

$$\begin{aligned} &= (100\% - 85\%) \times 333 \\ &= \mathbf{50 \text{ mg/ltr}} \end{aligned}$$

Ukuran volume anaerobik filter adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{HRT pada AF} \times \text{Volume limbah per hari/24} \\ &= 30 \times 25/24 \\ &= 31.25 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- ❖ Berikutnya marilah kita hitung dimensi (panjang, lebar, tinggi, dsb) dari konstruksi kebutuhan volumenya telah dihitung. Misalnya dari situasi lahan yang tersedia ditetapkan lebarnya adalah 1.75 m. Dan tinggi air dalam septik tank = 2.25 m.

Septik tank (primary treatment):

Volume Septik tank sebagai primary treatment = 10 m³

Maka panjang dari bak 1 septik tank adalah:

$$\begin{aligned} &= (2/3 \times 10) / (1.75 \times 2.25) \\ &= 1.68 \text{ m} \end{aligned}$$

dibulatkan = 1.7 m

Sedangkan panjang dari bak 2 septik tank = 0.85 m

Anaerobik filter (secondary treatment)

Volume anaerobik filter yang dibutuhkan ialah = 31.25 m³

(ingat ada bagian yang terisi oleh media hingga harus diperhitungkan void ratio nya)

Jumlah chamber telah ditetapkan sebanyak = 3 chamber

Dalam (depth) dari anaerobik filter misalnya ditetapkan = 2.25 m (seperti septik tank)

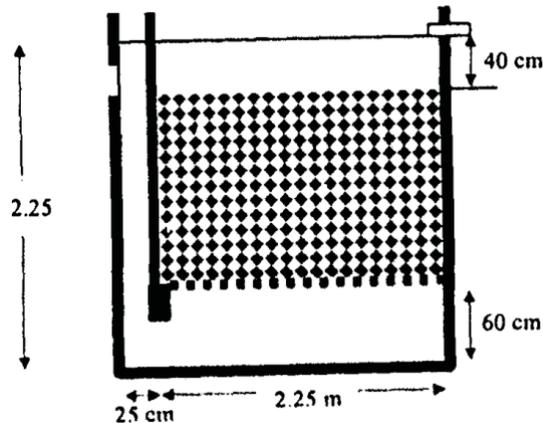
Agar terjadi aliran yang baik (khususnya bila anda menetapkan aerobik filter dengan multi chamber) dianjurkan agar maksimum panjang setiap chamber tidak lebih dari dalamnya.

Dalam kasus ini maka panjang chamber 1 = 2.25 m
 Panjang chamber 2 = 2.25 m
 Panjang chamber 3 = 2.25 m
 Total = 6.75 m

Tetapi ketebalan media jelas lebih kecil dari kedalaman (depth) dari anaerobik filter sendiri.

Misalnya plat penahan media letaknya 60 cm dari dasar AF dan ketebalan plat (biasanya merupakan plat beton yang berlubang-lubang) adalah 5 cm. Sedangkan bagian atas media 40 cm lebih rendah dibanding lubang effluent.

Maka ketebalan media = $2.25 - 0.6 - 0.05 - 0.4$
 = 1.2 m



Misalnya lebar diberi kode W, maka total volume dari 1 chamber adalah:

$$10.42 \text{ m}^3 = (2.25 \times 0.25 \times w) + (2.25 \times 2.25 \times w) - (2.25 \times 1.2 \times w) \times 0.65$$

maka $w = 2.69$ meter atau dibulatkan menjadi 2.7 meter

Untuk anaerobik filter setelah urusan menghitung dimensi selesai perlu dilakukan check kecepatan aliran pada media pada kondisi peak flow.

Kecepatan aliran pada media:

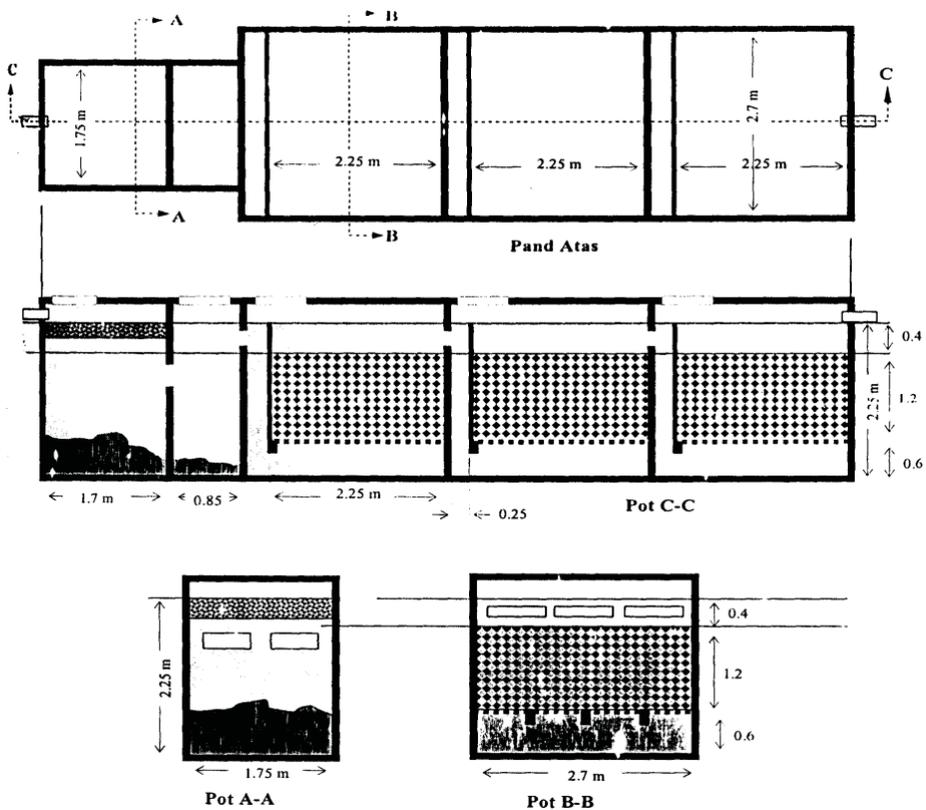
$$\begin{aligned} V &= \text{peak flow} / (\text{penampang media} \times \text{void ratio}) \\ &= 2.08 / (2.25 \times 2.69 \times 0.35) \\ &= \mathbf{0.98 \text{ m/jam}} \end{aligned}$$

Kecepatan aliran pada media ini tidak boleh lebih dari 2 m/jam.

Bila terlampau cepat maka proses penguraian tidak berjalan dengan efisien dan akibatnya sistem tidak berfungsi seperti yang diharapkan.

Bila pada check ini ternyata kecepatan aliran terlampau tinggi maka anda perlu merubah dimensi panjang dan lebar, atau memakai media dengan void ratio yang lebih tinggi.

Sketsa dari hasil desain yang telah anda hitung dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

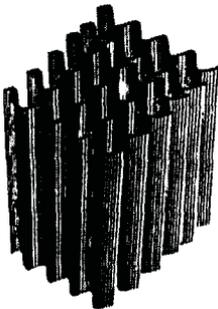


Contoh media filter

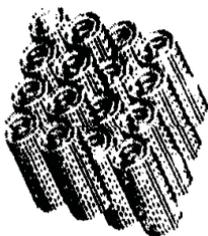


bentuk dan model dal; media (untuk proses anaerobik atau aerobik) sedemikian hingga disatu sisi effisiensinya lebih tinggi tetapi disisi lain tidak terjadi clogging (tersumbat).

Model anyaman plastik berbentuk bola (mirip bola sepak takraw) banyak dipakai untuk pengolahan limbah deri industri tahu di China & Thailand. Bila mikroorganism cukup tebal maka bola tersebut akan bergulir hingga menghindari clogging.



Bentuk plastik sheet yang dibuat bergelombang (corrugated) dengan permukaan yang dibuat khusus dengan harapan surface area lebih besar hingga mening¹/₄atkan effisiensi



Bentuk sarang tawon (honeycomb) dengan bahan porous hingga diharapkan paca media tersebut merupakan tempat yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganism yang akhirnya dapat meningkatkan effisiensi pengolahan.

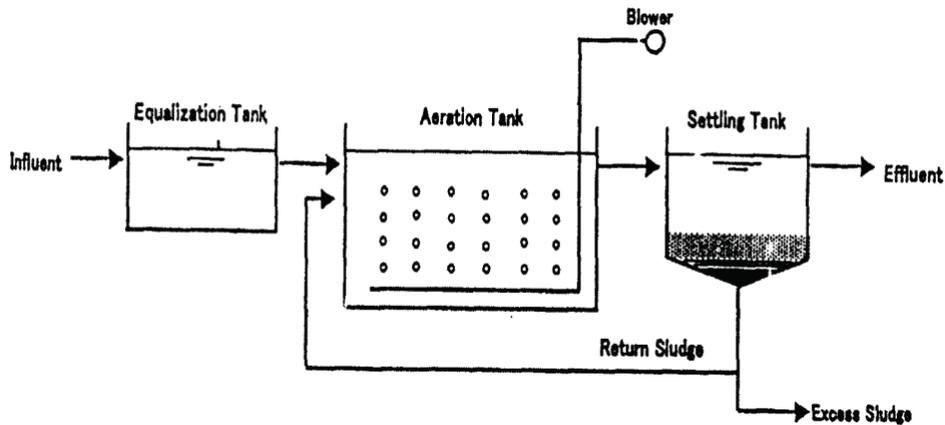
D. Aerobic Treatment

1. Proses Lumpur Aktif (Activated Sludge Process)

Sesudah dikembangkan pada 1910 an di Eropa dan Amerika Serikat, karena efisien dan ekonomis, proses Lumpur aktif mulai banyak digunakan dan menjadi proses aerobik yang paling populer.

Istilah "lumpur aktif" sering diartikan sebagai nama proses itu sendiri dan juga sering diartikan sebagai padatan biologik yang merupakan motor di dalam proses pengolahan.

Prinsip Proses Lumpur Aktif



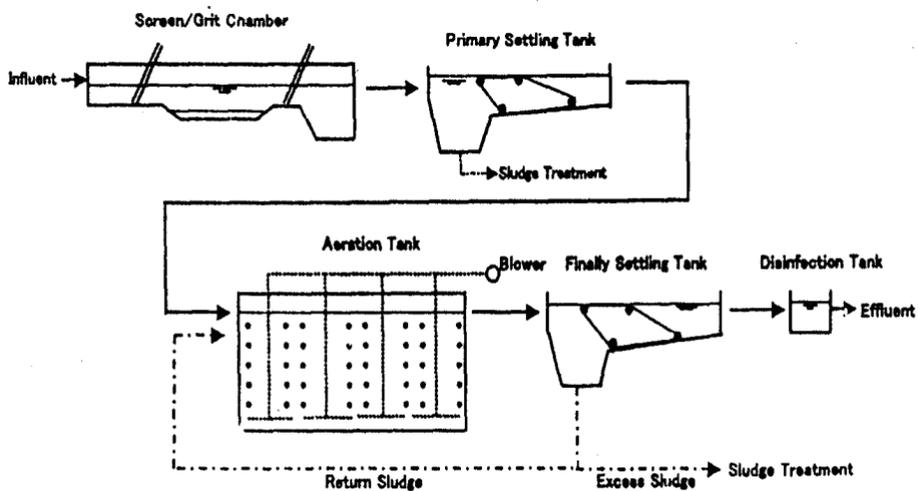
Gambar 7.35. Proses lumpur aktif

Seperti pada gambar diatas, sesudah *equalization tank* di mana fluktuasi kualitas/ kuantitas influen diratakan, limbah cair dimasukkan ke dalam tangki aerasi di mana terjadi pencampuran dengan mikroorganismenya yang aktif (lumpur aktif). Mikroorganismenya inilah yang melakukan penguraian dan menghilangkan kandungan organik dari limbah secara aerobik.

Oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi mikroorganismenya tersebut diberikan dengan cara memasukkan udara ke dalam tangki aerasi dengan *blower*. Aerasi ini juga berfungsi untuk mencampur limbah cair dengan lumpur aktif, hingga terjadi kontak yang intensif.

Sesudah tangki aerasi, campuran limbah cair yang sudah diolah dan lumpur aktif dimasukkan ke tangki sedimentasi di mana lumpur aktif diendapkan, sedangkan *supernatant* dikeluarkan sebagai effluen dari proses.

Sebagian besar lumpur aktif yang diendapkan di tangki sedimentasi tersebut dikembalikan ke tangki aerasi sebagai *return sludge* supaya konsentrasi mikroorganismenya dalam tangki aerasinya tetap sama dan sisanya dikeluarkan sebagai *excess sludge*.



Gambar 7.36. diagram proses lumpur aktif yang dilengkapi sarana pre treatment

Parameter Proses Lumpur Aktif

Beberapa parameter yang digunakan didalam desain sistem pengolahan lumpur aktif adalah sebagai berikut :

Organic Loading

Organic Loading adalah parameter utama untuk mendesain proses lumpur aktif dan meng-operasikannya.

Ada dua jenis parameter untuk *organic loading*, yaitu **F/M** (*Food to Microorganism Ratio*) dan **Volumetric BOD Loading**.

$$F/M = (L_f \times Q_i) / (V \times S) \dots\dots\dots [kg \text{ BOD}/kg \text{ MLSS}/\text{hari}]$$

- L_f : BOD influen [kg/m³]
- Q_i : debit influen [m³/hari]
- V : volume tangki aerasi [m³]
- S : MLSS [kg/m³]

MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids

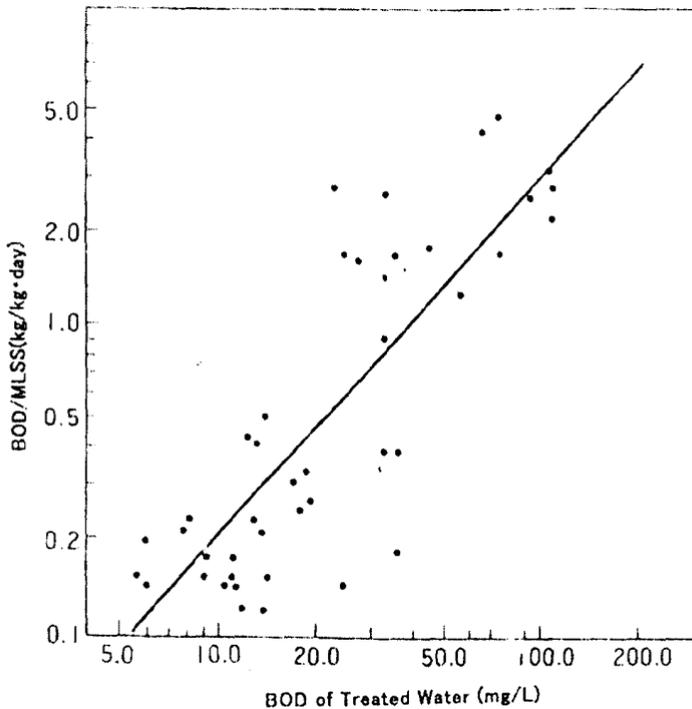
$$Volumetric \text{ BOD Loading} = (L_i \times Q_i)N \dots (kg \text{ BOD}/m^3/\text{hari})$$

Apabila *organic loading* tinggi, kualitas effluen menjadi jelek dan *excess sludge* menjadi banyak.

Sedangkan kalau *organic loading* rendah, kualitas effluen menjadi baik dan *excess sludgenya* menjadi sedikit.

Akan tetapi, supaya menurunkan *organic loading*, harus diadakan tangki aerasi lebih besar dan juga harus memakai lisrik lebih banyak.

$$\text{volumetric BOD Loading} = (L_f \times Q_i) / V \dots\dots (\text{kg BOD//hari})$$



HRT (Hydraulic Retention Time)

Hydraulic Retention Time didefinisikan, rata-rata berapa lama limbah cair yang dimasukkan ke dalam tangki aerasi berada dalam tangki tersebut.

$$\text{HRT} = 24V / Q_i \quad [\text{jam}]$$

Apabila BOD influen, BOD Loading dan MLSS sudah tetap, dengan sendirinya HRT akan ditetapkan.

Misalnya, kalau debit influen 100 m³/hari, BOD influen 200 ppm dan BOD Loading = 0.3 kg BOD/kg MLSS/hari dan MLSS 3,000 ppm, maka mikro-organisme yang dibutuhkan dalam tangki (W_a kg) aerasi adalah

$$W_a = (0.2 \times 100 / 0.3) = 67 \text{ kg}$$

Maka volume tangki aerasi (V m³) yang dibutuhkan adalah:

$$V = 67 / 3 = 22 \text{ m}^3$$

Sehingga, HRT menjadi :
 $HRT = 24 \times 22/100 = 5,3$ jam

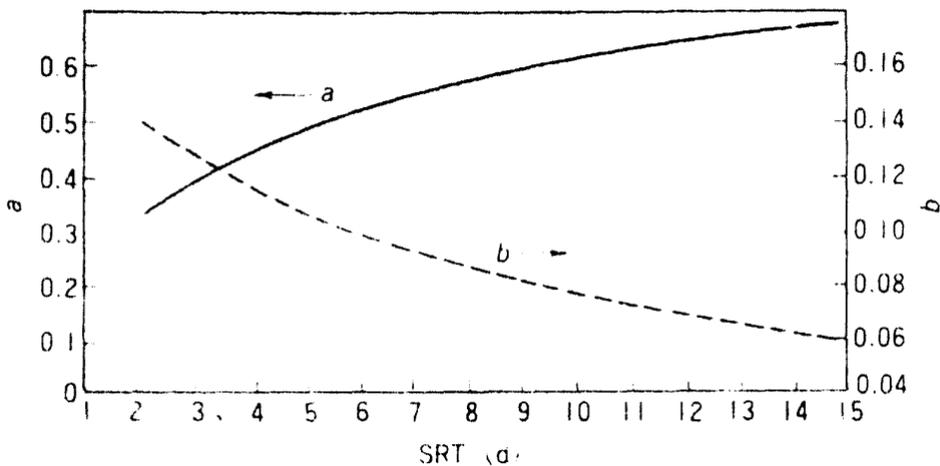
Oksigen dibutuhkan (Required Oxygen)

Oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi aerobik dalam tangki aerasi bisa dihitung sebagai berikut:

$$O_r = a \times L_r + b \times L_a$$

- O_r = Oksigen dibutuhkan [kg/hari]
- L_r = BOD yang dihilangkan [kg/hari]
- L_a = kuantitas lumpur aktif dalam tangki aerasi [kg]
- a, b = coefficient

Angka biasa a dan b adalah $0.31 - 0.77$ dan $0.05 - 0.18$ masing-masing. Coefficient a dan b dipengaruhi oleh SRT (contoh: gambar 5)



pH

Biasanya pH yang optimal untuk reaksi lumpur aktif adalah 6 – 8.

Nutrient Balance

Pada umumnya perbandingan antara BOD, nitrogen dan phosphorous yang optimal untuk proses lumpur aktif adalah

$$BOD : N : P = 100 : 5 : 1$$

Kalau nutrient balancenya kurang baik, maka kita bisa memperbaiki

balance tersebut dengan cara menambah kimia yang mengandung *nitrogen* atau *phosphorous*.

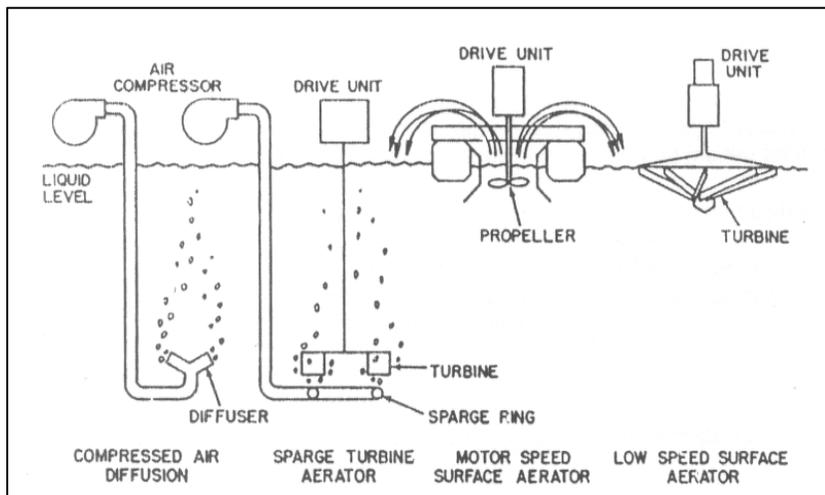
Variasi Proses Lumpur Aktif

Pada gambar 6 dan gambar 7 bisa dilihat berbagai jenis variasi proses lumpur aktif.

E. Oxidation Ditch

Oxidation ditch adalah salah satu proses lumpur aktif, akan tetapi bentuk tangki aerasinya oval seperti gambar 7 dan limbah cair dan lumpur aktif memutar dalam tangki tersebut dengan surface aerator atau mixer/ aerator yang lain.

Dalamnya *oxidation ditch* 1 - 3 m dan lebar (satu jalur) nya 2 - 6 m. Seperti *extended aeration* proses, *oxidation ditch* juga dioperasikan dengan BOD loading yang rendah, maka menghasilkan *excess sludge* lebih sedikit dari proses lumpur aktif. Proses ini bisa dioperasikan dalam kondisi stabil dan bertahan fluktuasi loading dan juga fluktuasi temperatur. Karena tergantung pada posisi dalam ditch konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*, Oksigen terlarut) berbeda, sehingga bisa mengadakan tidak hanya reaksi aerobik, akan tetapi reaksi anaerobik, maka bisa menghilangkan nitrogen sampai derajat tertentu.



Gambar 7.37. Artificial Oxygenation and Mixing Devices

F. Constructed Wet Land

Constructed Wet Land (arti harafiah nya adalah Lahan Basah yang Sergaja Dibuat) adalah salah satu sistem pengolahan limbah yang prinsipnya cenderung meniru proses purifikasi yang terjadi di alam.

Sistem ini banyak digunakan untuk penanganan limbah domestik komunal dan limbah pertanian. Salah satu prasyarat yang diperlukan adalah tersedianya lahan. Untuk limbah industri sistem ini hanya dapat digunakan untuk Post Treatment atau proses akhir. Karena beban limbah industri lazimnya cukup tinggi hingga akan terjadi penyumbatan (*clogging*) bila sistem ini digunakan pada tahap awal.

Sistem Pengolahan

Terdapat beberapa tipe sistem pengolahan dasar (*basic treatment system*) yang masuk katagori "*constructed wet land*":

- a) Treatment diatas permukaan tanah
- b) Filtrasi dergan aliran vertikal
- c) Filtrasi dengan aliran horizontal

Treatment diatas permukaan dilakukan dengan menyebarkan air limbah secara teratur diatas permukaan tanah dibentuk sedemikian hingga contour nya bertingkat-tingkat sesuai dengan desain.

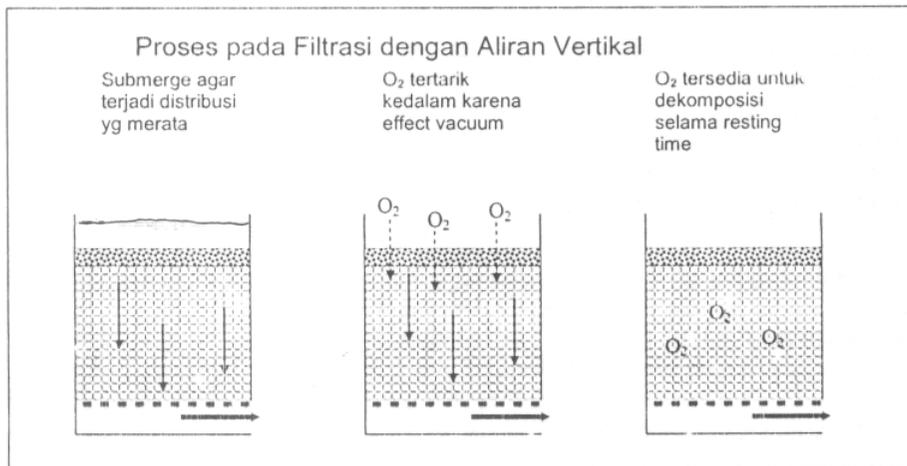
Penyebaran air limbah sendiri biasanya dilakukan dengan sprinkler. Tetapi pola demikian membutuhkan lahan yang cukup luas hingga kurang cocok untuk limbah industri. Karena lahan di kawasan industri biasanya terbatas dan mahal hingga penerapan pola ini tidak feasible.

Filtrasi dengan aliran vertikal dilakukan dengan membagi limbah ke beberapa filter bed (2 atau 3 unit) secara bergantian. Pembagian limbah secara bergantian tersebut dilakukan dengan pengaturan klep (*dosing*) dan untuk itu perlu dilakukan oleh operator. Karena perlu dilakukan pembagian secara bergantian tersebut, pengoperasian sistem ini rumit hingga tidak praktis.

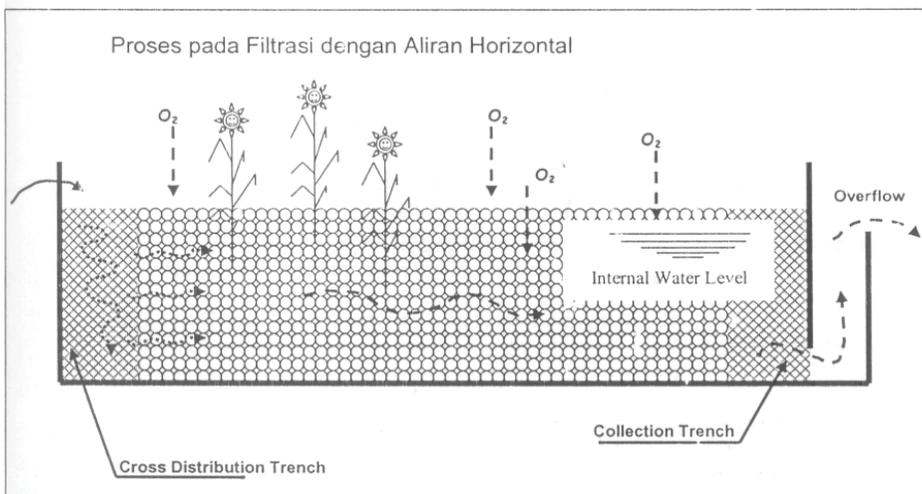
Filtrasi dengan aliran horizontal dilakukan dengan mengalirkan limbah melewati media filter secara horizontal. Cara ini sederhana dan praktis tidak membutuhkan perawatan, khususnya bila di desain dan dibangun dengan baik.

Filtrasi dengan aliran vertikal dan horizontal mempunyai prinsip kerja yang berbeda. Filtrasi horizontal secara permanen terendam oleh air limbah dan proses yang terjadi adalah sebagian aerobik dan sebagian anaerobik.

Sedangkan pada filtrasi vertikal, proses yang terjadi cenderung anaerobik. Prinsip kerja tersebut dapat dilihat pada sketsa dibawah:



Gambar 7.38. Proses fitrasi dengan aliran vertikal



Gambar 7.39. Proses filtrasi dengan aliran horisontal

Mengingat faktor pengelolaan maka untuk finalisasi pengolahan limbah industri filtrasi dengan aliran horizontal lebih sesuai, hingga dalam manual ini hanya sistem tersebut yang dibahas dengan lebih rinci.

Penyumbatan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan didalam filtrasi horizontal. Bila penyumbatan (*clogging*) ini terjadi maka konstruksi tersebut tidak akan berfungsi dengan semestinya dan perlu dilakukan pembongkaran serta penggantian media dan hal tersebut merupakan pekerjaan yang menyulitkan. Karena itu pemilihan media merupakan salah satu issue yang amat penting didalam men desain filtrasi horizontal.

Sungguhpun pada tingkat finalisasi (post treatment), beban organis dan padatan pada air limbah lebih besar dibanding filtrasi untuk pengolahan air minum. Karena itu media yang lazim digunakan untuk filtrasi horizontal adalah gravel (kerikil). Konstruksi demikian sering juga disebut sebagai : "Constructed Wetland"; "Sub Surface Flow Wetland (SSF)", atau; "Root Zone Treatment Plant'.

Beberapa syarat yang perlu diperhatikan untuk aplikasi Filtrasi Horizontal adalah:

- ❖ Sedimen didalam limbah cair harus cukup rendah. Dalam hal ini masukan limbah kedalam Imhoff cone dan setelah kira kira 1 jam sedimen nya harus kurang dari 1 ml/l.
- ❖ Sedangkan Suspended Solid yang tidak terendapkan harus kurang dari 100 ml/l

Hal lain yang perlu juga diperhatikan adalah bila COD dari settleable solid kurang dari 40% dari Total SS; ada kemungkinan bahwa padatan didalam-nya adalah lemak (fat) dalam bentuk kolloida. Formasi lemak tersebut dapat menghambat pengaliran didalam filtrasi horizontal (mengt. raagi hydraulic conductivity) dan konsekwensinya mengurangi umur dan kinerja konstruksi.

Kasus seperti ini banyak dijumpai pada limbah industri makanan misalnya industri dairy, pemotongan hewan, dlsb.

- ❖ COD dari limbah tidak lebih dari kira kira 400 mg/l.
Konsekwensinya cara ini lebih baik digunakan untuk pengolahan lanjutan (post treatment) dan bukannya untuk primary treatment.

Proses treatment yang terjadi pada Filtrasi Horizontal amat kompleks. Terdapat beberapa teori dan pendapat yang berusaha menjelaskan proses yang terjadi. Misalnya bagaimana proses physical filtration, terjadinya intake udara, pengaruh tanaman pada proses biologis, dlsb. Tetapi semua pendapat dan teori tersebut masih merupakan rekaan dan masih terdapat banyak kontroversi.

Andaikata proses yang terjadi pada tiap bagian dapat dijelaskan, masih terdapat pertanyaan besar untuk menjelaskan interaksi antar tiap proses yang terjadi didalam keseluruhan konstruksi ini.

Karena itu terdapat banyak kontroversi mengenai cara perhitungan secara teoritis. Tetapi terdapat beberapa patokan logis yang perlu diperhatikan didalam desain dan pelaksanaan konstruksi filtrasi horizontal, diantaranya adalah:

- Filter bed yang luas dan tidak terlampau dalam lebih baik dibanding konstruksi yang terlampau dalam tetapi sempit.
- Zona inlet yang lebih luas lebih baik.
- Perlu diatur agar aliran terdistribusi secara merata pada seluruh lebar zona inlet tersebut.
- Memakai gravel dengan bentuk yang relatif bulat dan ukuran yang hampir sama untuk media.

Bentuk gravel yang relatif bulat dan ukuran yang regular memberikan void ratio yang tinggi. Sebenarnya bentuk demikian akan mengurangi kinerja dari treatment, tetapi menghindari masalah penyumbatan.

Padahal penyumbatan (clogging) merupakan salah satu masalah yang amat perlu diperhatikan didalam konstruksi filtrasi horizontal.

Clogging tersebut lazim terjadi karena :

- a) Suspended Solid, dan
- b) sludge yang terbentuk akibat penguraian bahan organis didalam limbah.

Karena itu bagian muka (front part) dari media harus sedemikian hingga mempunyai void yang kecil hingga dapat menahan SS sebaik mungkin, tetapi juga harus luas agar dapat meratakan SS tsb agar tidak mengumpul di situ tempat saja.

Berdasar pengalaman empiris, pada bagian ini, pemakaian gravel dengan bentuk bulat dan uniform dengan ukuran diameter antara 8 - 15 mm adalah paling baik. Agar tidak terjadi percolasi air limbah karena kebocoran, maka konstruksi filter horizontal lazimnya dibuat dengan:

- ✓ Lapisan tanah liat yang kedap air
- ✓ Plastik, atau
- ✓ Pasangan (beton atau pasangan batu). Umur

Seperti telah disinggung diatas penyumbatan (clogging) adalah masalah umum yang sering membuat konstruksi filter horizontal tidak

berfungsi.

Bila didesain, dilaksanakan dan di operasi kan dengan baik maka filter horizontal dapat berfungsi secara optimum selama 15 – 20 tahun. Umur tersebut sangat dipengaruhi oleh ukuran butiran dari gravel dan strength dari limbah.

Bila fungsinya sudah menurun (ditunjukkan dengan menurunnya hydraulic conductivity) ada beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk memfungsikan sistem tersebut kembali, ialah:

Mengistirahatkan dan men drain filter horizontal untuk beberapa waktu. Proses ini lazim disebut "resting". Untuk ini didalam desain lebih baik membagi seluruh filter bed menjadi beberapa bagian hingga bila bagian tertentu sedang "resting" bagian lain masih tetap dapat difungsikan.

- ✓ Setelah itu dilakukan pengisian secara bergantian (*alternate chaiging*) dan setelah dianggap cukup dapat difungsikan kembali.
- ✓ Selama proses resting dan drain tersebut berbagai elemen yang mengakibatkan penyumbangan dapat terdekomposisi hingga hydraulic conductivity dapat ditingkatkan kembali.
- ✓ Tetapi bila turunnya hydraulic conductivity ini disebabkan oleh partikel padat yang tidak dapat terurai (misalnya tanah) maka tidak ada jalan lain selain membongkar media dan melakukan penggantian. Bila hal ini terpaksa dilakukan maka lebih baik dilakukan pada bagian inlet. Karena bagian ini lazimnya merupakan bagian yang paling sering mengalami masalah clogging

Tanaman digunakan untuk menutup filter media data disamping itu dengan adanya tanaman akan melahirkan suatu micro ecosystem yang menghasilkan sinergi yang positif terhadap proses pengolahan limbah.

Banyak uji coba empiris yang dilakukan yang masing masing melaporkan kelebihan dan kekurangannya. Tetapi akhirnya jenis tanaman yang aipilih haruslah yang banyak tersedia (atau mudah untuk diadakan) di suatu lokasi.

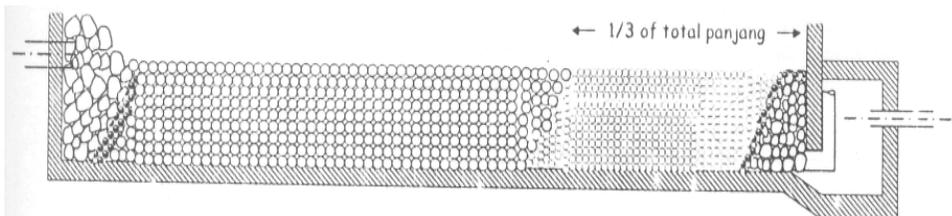
Patokan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis tanaman yang akan ditanam diatas horizontal filter adalah:

- Yang dapat hidup pada air limbah.
Berbagai ragam perdu yang lazim tumbuh di wilayah rawa merupakan opsi yang dapat dipilih.
- Yang mempunyai pola perakaran yang dalam dan lu⁹s hingga dapat menjangar & menembus seta seta filter media dan mencengkerana.

BORDA (Bremant Overseas Research & Development Association) melaporkan bahwa *Phragmites Australis* (Glagah, Parumpung, Kasongket) merupakan jenis tanaman yang amat baik digunakan pada konstruksi ini. Karena akarnya dalam dan menjangar ke berbagai arah hingga membentuk formasi yang baik. Disamping itu *Typlaa Angustifolia* (Tanaman Ekor Kucing) juga dilaporkan mempunyai performance yang baik untuk digunakan pada filter horizontal. Disamping melahirkan suatu micro ecosystem yang kompleks yang berdampak positif terhadap proses pengolahan, sampai tingkat tertentu sistem perakaran juga dilaporkan dapat mereduksi berbagai substansi racun.

Sketsa dan Contoh konstruksi

Model 1



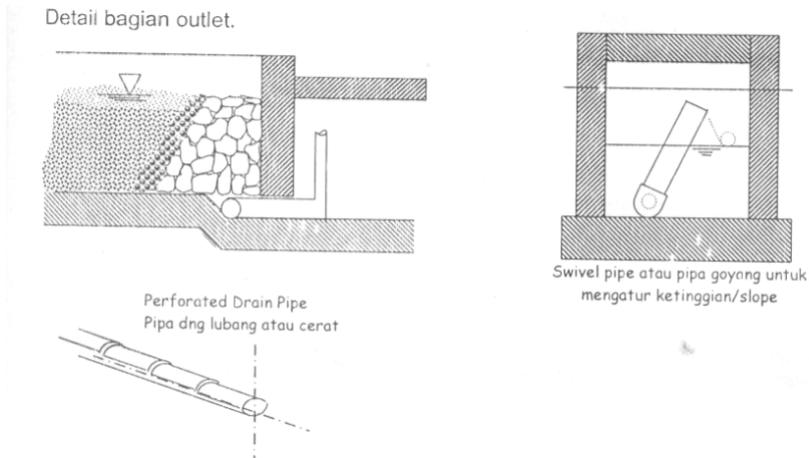
Model ini menggunakan batu kali dengan ukuran besar (15 — 20 cm) untuk bagian muka dari konstruksi. Susunan batu kali tersebut berfungsi sebagai distributor hingga aliran yang masuk ke media diharapkan merata .

Antara batu kali dengan media digunakan batu pipih yang fungsinya untuk memudahkan pengaturan media dan sekaligus juga berfungsi untuk meratakan aliran.

Bagian pertama (kira kira 2/3 panjang) biasanya digunakan gravel dengan ukuran yang lebih besar sedarigkan pada bagian akhir dengan

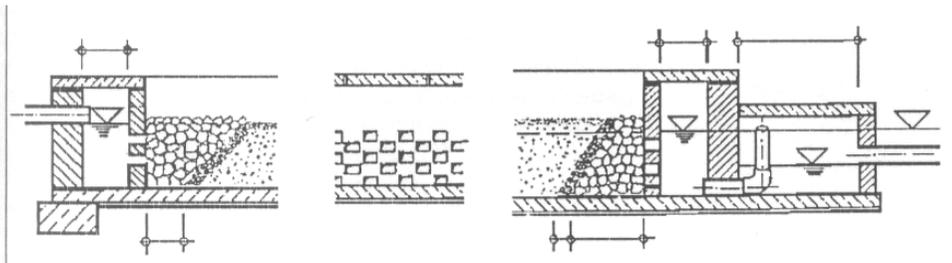
ukuran yang lebih kecil. Pada bagian akhir digunakan juga batu kali yang didalamnya diletakkan pipa melintang yang berlubang (perforated pipe). Untuk mengatur aliran digunakan pipa pengeluaran vertikal yang dapat diatur ketinggiannya (swivel pipe atau pipa goyang).

Untuk menjamin pengaliran horizontal yang merata di seluruhampang dari media, seringkali pada bagian tengah dibuat pasangan batu kali tambahan (Lihat sketsa dibawah)



Model 2

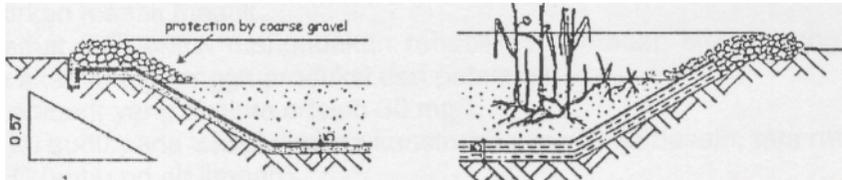
Pada model ini bagian depan dan belakang (inlet dan outlet) diberi tambahan tembok yang ber lubang lubang agar distribusi masukan limbah lebih merata. Kesemuanya membentuk gang (gallery) pada bagian pemasukan dan pengeluaran. Bentuk demikian sering digunakan bila jumlah debit harian limbah cukup besar.



Untuk menghemat biaya, konstruksi horisontal filter yang besar sering menggunakan tanah fiat dan lembaran plastik khusus. Pemasangan lembaran plastik tersebut dapat dilihat pada sketsa

dibawah.

Khusus untuk Indonesia perlu diperhatikan jenis plastik yang digunakan. Beberapa uji coba (untuk stabilisasi jalan dan sawah plastik) terdapat beberapa jenis plastik yang justru amat digemari oleh cricket (sejenis belalang) dan dengan giginya yang bergerigi dapat merusak konstruksi tersebut dalam waktu singkat.



Bibit tanaman yang baru tidak dapat tumbuh diatas air limbah. Karena itu pada tahap awal dianjurkan untuk banyak menambah air dan muatan limbah bertambah seiring dengan pertumbuhan tanaman tsb.

Setelah mencapai full load, ketinggian pipa goyang mulai diatur sesuai dengan debit yang direncanakan.

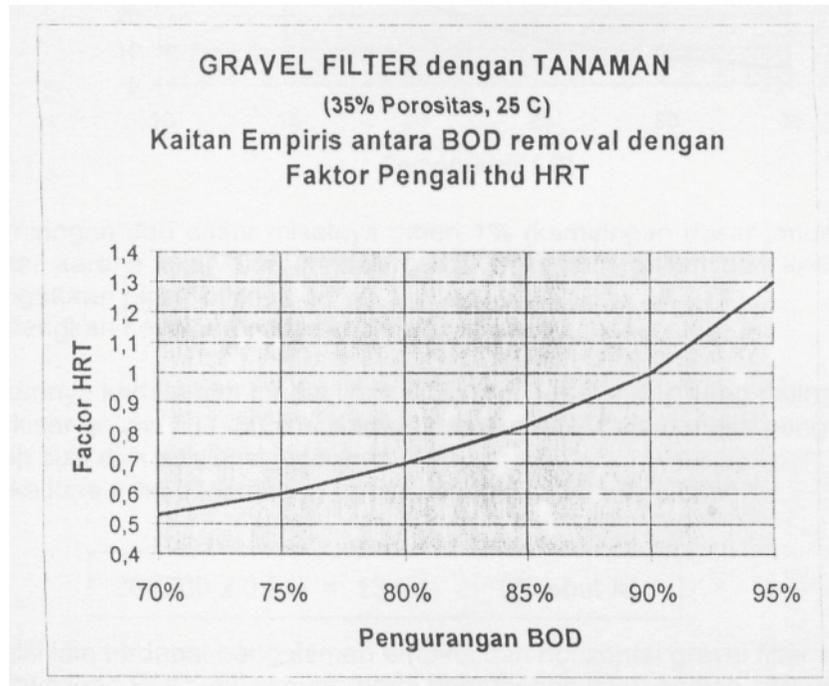
Pada waktu hujan, maka air hujan akan jatuh diatasnya dan hal tersebut tidak dapat dihindari. Tetapi harus dihindari agar air hujan yang jatuh disekitarnya tidak mengalir menuju ke konstruksi ini; karena kandungan partikel halus yang biasanya terdapat didalamnya akan menyumbat sistem filtrasi.

Berikutnya adalah mencari HRT (hydraulic retention time) yang dibutuhkan untuk mencapai BOD removal sesuai dengan yang diharapkan.

Sungguhpun hal tersebut dapat dihitung secara teoritis, tetapi pada kenyataannya akan cukup kompleks. Karena hal tersebut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan void ratio dari gravel yang digunakan. Lebih banyak gravel yang digunakan tidak mungkin bentuknya sama (regular). Ditambah lagi terdapat akar tanaman yang diharapkan menembus sela-sela filter bed agar diperoleh micro ecosystem yang berpengaruh positif terhadap proses pengolahan limbah secara keseluruhan. Dengan kata lain terdapat berbagai variabel dan interaksinya yang cukup kompleks hingga mau tidak mau diperlukan berbagai uji coba empiris dan hasil empiris tersebut kemudian digunakan sebagai pegangan

didalam perencanaan.

Uji coba empiris yang banyak dilakukan adalah untuk limbah domestik dan limbah industri makanan dan hasilnya dapat digunakan sebagai pegangan awal. Kaitan empiris antara BOD removal dengan faktor pengali terhadap HRT dapat dilihat pada grafik berikut:



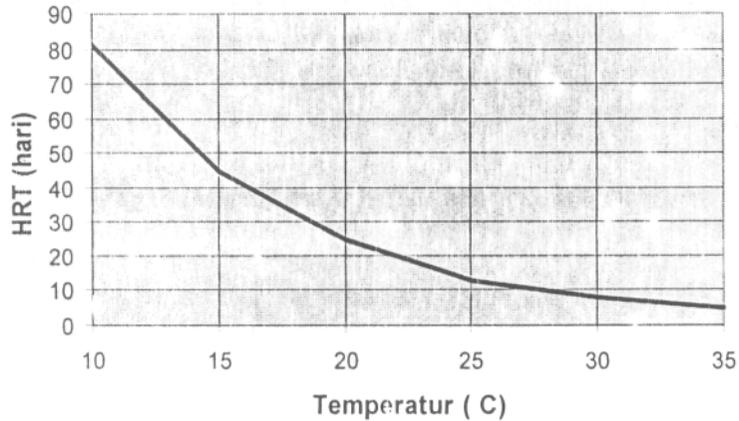
Dengan BOD removal 86% (yang diharapkan) maka Faktor pengali HRT sebesar kira kira 0.86 luga.

Proses biologis yang terjadi dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan proses yang lebih aktif dibanding temperatur yang rendah. Dengan kata lain untuk mencapai BOD removal tertentu pada temperatur yang tinggi akan lebih cepat dibanding temperatur rendah. Hingga lama limbah harus menginap (HRT) pada temperatur tinggi lebih sedikit dibanding pada temperatur rendah.

Hubungan empiris HRT dengan temperatur pada konstruksi gravel filter horizontal dapat dilihat pada grafik berikut:

Dengan suhu 25 °C maka akan diperoleh perkiraan HRT sebesar 11.2 hari.

GRAVEL FILTER
Hubungan antara HRT dng Temperatur
 (dengan dasar pengurangan BOD 90 %)



Kemiringan dari clasar misalnya diberi 1% (kemiringan dasar jangan terlampau besar karena akan berpengaruh pada pekerjaan galian dan kesulitan dalam pengaturan pipa goyang).

Sedangkan kedalaman media diambil 60 cm.

Lazimnya kedalaman media tidak lebih dari 1 meter dan yang paling lazim berkisar antara 60 -- 80 cm. Karena dengan lebih dalam maka pengerjaan akan lebih sulit dan efisiensi juga menurun.

Maka luas area penampang (cross section) ... (Darcy's Law) =
 $26 (200 \times 0,01) = 13\text{m}^2$ (disebut A)

Disisi lain terdapat pengalaman empiris dari horizontal gravel filter menunjukkan bahwa load BOD maksimum (pada penampang inlet) adalah **150 g/m²**.

Banyak pengalaman menunjukkan bahwa load yang lebih besar dari angka tersebut akan menimbulkan berbagai masalah, hingga umur dari konstruksi akan cepat menurun atau dibutuhkan penggantian media yang terlampau sering. Dalam hal ini perlu diperhatikan bahwa lebih baik membuat suatu konstruksi yang dapat berfungsi dan digunakan selama 15 -- 20 tahun daripada suatu konstruksi yang perlu diganti medianya setiap 2 a 3 tahun.

Load BOD per hari adalah $26 \times 1000 \times 215/1000 = 5.590 \text{ gr}$

Dengan basis empiris diatas maka luas area penampang (*cross section*) yang dibutuhkan adalah :

$$5.590/150 = 37,27 \text{ m}^2 \quad (\text{disebut } \mathbf{B})$$

Bila $A > B$ maka gunakanlah angka A

Tetapi bila $A < B$ Lebih baik gunakan angka B untuk desain.

Dalam hal ini $A < B$ hingga luas area penampang (*cross section*) = **37,27 m²**.

- Karena ketinggian filter 0,6 mtr maka lebar dari konstruksi adalah: $37,27/0.6 = \mathbf{62.1}$ mtr
- Langkah berikutnya adalah menghitung luas area (pandangan atas) dari konstruksi horizontal filter.

Diatas telah dihitung dan diperoleh perkiraan HRT adalah 11,2 hari. Perlu diingat bahwa HRT tersebut merupakan angka teoritis. Pada kenyataannya limbah hanya akan melewati celah celah (bagian kosong atau void) dari media. Karena void pada media yang dipilih adalah 35%, maka HRT real adalah kira kira $35\% \times 11.2 \text{ hari} = 3,92 \approx 4 \text{ hari}$.

Dengan basis HRT tsb maka total luas (pandangan atas) dari media adalah:

$$26 \times 11.2/0.6 = 485,3 \text{ m}^2 \quad (\text{disebut } \mathbf{X})$$

Tetapi total luas tersebut juga dibatasi oleh beberapa pendekatan empiris. Bila load pada penampang inlet dianjurkan untuk tidak lebih dari 150 g/m^2 . Tetapi setelah diratakan dianjurkan agar load pada keseluruhan media tidak lebih dari $10 \text{ g BOD/m}^2 \text{ hari}$.

Dengan basis ini maka total luas (pandangan atas) dari media adalah:

$$26 \times 2.15/10 = 559 \text{ m}^2 \quad (\text{disebut } \mathbf{Y})$$

Bila $Y > X$ Maka gunakan angka Y

Bila $Y < X$ maka lebih baik gunakan angka X

Dalam kasus ini $Y > X$... maka total luas (pandangan atas) dari media untuk desain adalah 559 m^2 .

- Dengan lebar 62,1 meter dan total area 559 m^2 maka panjang dari konstruksi adalah $559/62,1 = 9$ meter.

Hingga Dimensi pokok dari desain adalah:

- Media tinggi = 0,6 mtr
 panjang = 9 mtr
 lebar = 62,1 \approx 62,5 mtr
- Media menggunakan gravel dengan void ratio 35% dan hydraulic conductivity berkisar 200 m/d
- BOD removal yang dapat diharapkan dengan desain tersebut kira kira adalah 86%. Dengan demikian setelah melewati konstruksi ini diharapkan BOD effluent menjadi kira kira 30 mg/l

Keuntungan dan Kerugian

- Dibutuhkan lahan yang cukup luas dan karena itu hanya cocok untuk lokasi dimana lahan yang tersedia cukup luas. Untuk lokasi dimana lahan amat terbatas atau dimana harga tanah sudah amat mahal, maka konstruksi ini kurang tepat.
- Tidak dapat digunakan untuk pengolahan limbah dimana beban suspended solid amat tinggi (lebih dari 100 mg/l) atau limbah dengan kandungan sedimen yang tinggi. Disamping itu kandungan COD pada limbah yang akan diolah dianjurkan tidak lebih dari 400 mg/l.

Karena itu untuk penanganan limbah industri hanya dianjurkan untuk tahap finalisasi (bukan untuk pengolahan tahap awal).

- Bila di desain dan dibuat konstruksi yang baik, operasinya akan mudah dan prosesnya berjalan secara alamiah (micro ecosystem); dalam kurun waktu yang cukup lama (10 - 20 tahun). Dengan kata lain selama periode 10 - 20 tahun tersebut berfungsi dengan sendirinya.

Dengan tambahan sentuhan estetika (misalnya sentuhan arsitek) konstruksi ini dapat digabungkan menjadi tempat yang indah dan dapat dimanfaatkan untuk fungsi lain seperti taman, dlsb (misalnya untuk perhotelan, rumah sakit, dlsb)



Gambar 7.40. Instalasi pengolah air limbah

B. Limbah Gas

1. Proses Pencemaran Udara

Semua spesies kimia yang dimasukkan atau masuk ke atmosfer yang "bersih" disebut kontaminan. Kontaminan pada konsentrasi yang cukup tinggi dapat mengakibatkan efek negatif terhadap penerima (*receptor*), bila ini terjadi, kontaminan disebut cemaran (*pollutant*). Cemaran udara diklasifikasikan menjadi 2 kategori menurut cara cemaran masuk atau dimasukkan ke atmosfer yaitu: cemaran primer dan cemaran sekunder. Cemaran primer adalah cemaran yang diemisikan secara langsung dari sumber cemaran. Cemaran sekunder adalah cemaran yang terbentuk oleh proses kimia di atmosfer.



Gambar 7.41. Pencemaran udara dari gas buang kendaraan bermotor.

Sumber cemaran dari aktivitas manusia (antropogenik) adalah setiap kendaraan bermotor, fasilitas, pabrik, instalasi atau aktivitas yang mengemisikan cemaran udara primer ke atmosfer. Ada 2 kategori sumber antropogenik yaitu: sumber tetap (*stationery source*) seperti: pembangkit energi listrik dengan bakar fosil, pabrik, rumah tangga, jasa, dan lain-lain dan sumber bergerak (*mobile source*) seperti: truk, bus, pesawat terbang, dan kereta api.

Lima cemaran primer yang secara total memberikan sumbangan lebih dari 90% pencemaran udara global adalah:

- a. Karbon monoksida (CO),
- b. Nitrogen oksida (No_x),
- c. Hidrokarbon (HC),
- d. Sulfur oksida (SO_x)
- e. Partikulat.

Selain cemaran primer terdapat cemaran sekunder yaitu cemaran yang memberikan dampak sekunder terhadap komponen lingkungan ataupun cemaran yang dihasilkan akibat transformasi cemaran primer menjadi bentuk cemaran yang berbeda. Ada beberapa cemaran sekunder yang dapat mengakibatkan dampak penting baik lokal, regional maupun global yaitu:

- a. CO₂ (karbon monoksida),
- b. Cemaran asbut (asap kabut) atau smog (*smoke fog*),
- c. Hujan asam,
- d. CFC (Chloro-Fluoro-Carbon/Freon),
- e. CH₄ (metana).

2. Unsur-unsur Pencemar Udara

a. Karbon monoksida (CO)

Pencemaran karbon monoksida berasal dari sumber alami seperti: kebakaran hutan, oksidasi dari terpena yang diemisikan hutan ke atmosfer, produksi CO oleh vegetasi dan kehidupan di laut. Sumber CO lainnya berasal dari sumber antropogenik yaitu hasil pembakaran bahan bakar fosil yang memberikan sumbangan 78,5% dari emisi total. Pencemaran dari sumber antropogenik 55,3% berasal dari pembakaran bensin pada otomotif.



Gambar 7.42. Gas buang kendaraan yang mengandung CO

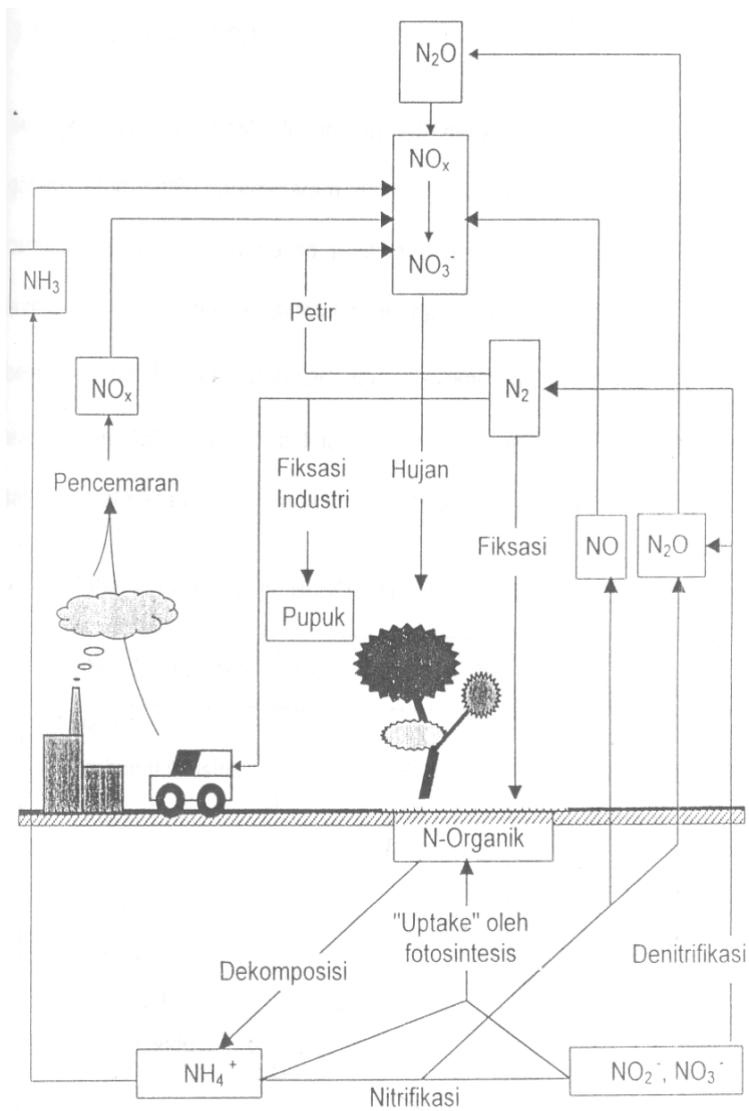
Perkiraan emisi per satuan berat bahan bakar disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perkiraan emisi CO per satuan berat bahan bakar

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi CO %	Emisi CO Kg/Ton BB
Batu bara		
Pembangkit listrik	0,025	0,25
Industri	0,15	1,5
Bensin	51,0	510,0
Kayu dan BB non-komersial		
Insinerasi	3,5	35,0
Kebakaran Hutan	5,0	50,0

b. Nitrogen oksida (NO_x)

Cemaran nitrogen oksida yang penting berasal dari sumber antropogenik yaitu: NO dan NO₂. Sumbangan sumber antropogenik terhadap emisi total ± 10,6%.



Gambar 7.43. Siklus Nitrogen Atmosfer-Tanah

Perkiraan emisi NO_x per satuan berat bahan bakar disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 7.13. Perkiraan emisi NO_x per satuan berat bahan bakar

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi CO %	Emisi NO ₂ kg.ton BB
Batu bara		
Pembangkit listrik	1	10 kg/ton
Industri	1	10 kg/ton
Minyak Bumi		
Bensin	2	20 kg/ton
Kerosen	1,3	13 kg/ton
Solar (Fuel Oil)	1,25	12,5 kg/ton
Minyak residu	1,8	18 kg/ton
Gas alam		
Pembangkit listrik	0,6*	6 kg/m ³
Industri	0,3*	Kg/m ³
Kebakaran hutan	0,25	2,5 kg/ton

c. Sulfur oksida (SO_x)

Senyawa sulfur di atmosfer terdiri dari H₂S, merkaptan, SO₂, SO₃, H₂SO₄ garam-garam sulfit, garam-garam sulfat, dan aerosol sulfur organik. Dari cemaran tersebut yang paling penting adalah SO₂ yang memberikan sumbangan ± 50% dari emisi total. Cemaran garam sulfat dan sulfit dalam bentuk aerosol yang berasal dari percikan air laut memberikan sumbangan 15% dari emisi total.



Gambar 7.44. Gas buang industri yang mengandung Sox

Perkiraan emisi sulfur dioksida per satuan berat bahan bakar disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 7.14. Perkiraan emisi SO₂ per satuan berat bahan bakar

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi CO %	Emisi SO ₂ kg.ton BB
Batu bara		
Pembangkit listrik	45	45 kg/ton
Industri	40	40 kg/ton
Minyak Bumi		
Bensin	-	
Kerosen	-	
Solar (Fuel Oil)	-	
Minyak residu	-	
Gas alam		
Pembangkit listrik	-	
Industri		

d. Hidrokarbon (HC)

Cemaran hidrokarbon yang paling penting adalah CH₄ (metana) + 86% dari emisi total hidrokarbon, dimana yang berasal dari sawah 11%, dari rawa 34%, hutan tropis 36%, pertambangan dan lain-lain 5%. Cemaran hidrokarbon lain yang cukup penting adalah emisi terpene (α-pinene p-pinene, myrcene, d-limonene) dari tumbuhan ± 9,2 % emisi hidrokarbon total. Sumbangan emisi hidrokarbon dari sumber antropogenik 5% lebih kecil daripada yang berasal dari pembakaran bensin 1,8%, dari insineratc dan penguapan solvent 1,9%.



Gambar 7.45. Emisi HC dari kegiatan industri

Tabel 7.15. Perkiraan emisi HC per satuan berat bahan bakar

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi CO %	Emisi Hidrokarbon kg.ton BB
Batu bara		
Pembangkit listrik	0,016	0,16
Industri	0,051	0,51
Bensin		
Pembakaran	9,0	60,0
Evaporasi dan transfer	2,06	20,6
Kerosen	< 0,1	< 1,0
Solar (Fuel Oil)	0,035	0,35
Minyak residu	0,039	0,39
Kayu	0,15	1,5
Kebakaran hutan	0,37	3,7

e. Partikulat

Cemaran partikulat meliputi partikel dari ukuran molekul s/d $> 10 \mu\text{m}$. Partikel dengan ukuran $> 10 \mu\text{m}$ akan diendapkan secara gravitasi dari atmosfer, dan ukuran yang lebih kecil dari $0,1 \mu\text{m}$ pada umumnya tidak menyebabkan masalah lingkungan. Oleh karena itu cemaran partikulat yang penting adalah dengan kisaran ukuran $0,1 - 10 \mu\text{m}$. Sumber utama partikulat adalah pembakaran bahan bakar $\pm 13\% - 59\%$ dan insinerasi.

Tabel 16. Perkiraan Faktor Emisi Partikulat

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi Partikulat
Gas Alam	
Pembangkit listrik	$0,24 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$
Industri	$0,29 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$
Distilat minyak bumi	
Industri	$1,8 \text{ kg}/\text{m}^3$
Rumah tangga	$1,0 \text{ kg}/\text{m}^3$
Minyak residu	
Pembangkit listrik	$1,20 \text{ kg}/\text{m}^3$
Kayu	$2,75 \text{ kg}/\text{m}^3$

f. Karbondioksida (CO₂)

Emisi cemaran CO₂ berasal dari pembakaran bahan bakar dan sumber alami. Sumber cemaran antropogenik utama adalah pembakaran batubara 52%, gas alam 8,5%, dan kebakaran hutan 2,8%



Gambar 7.46. Emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar

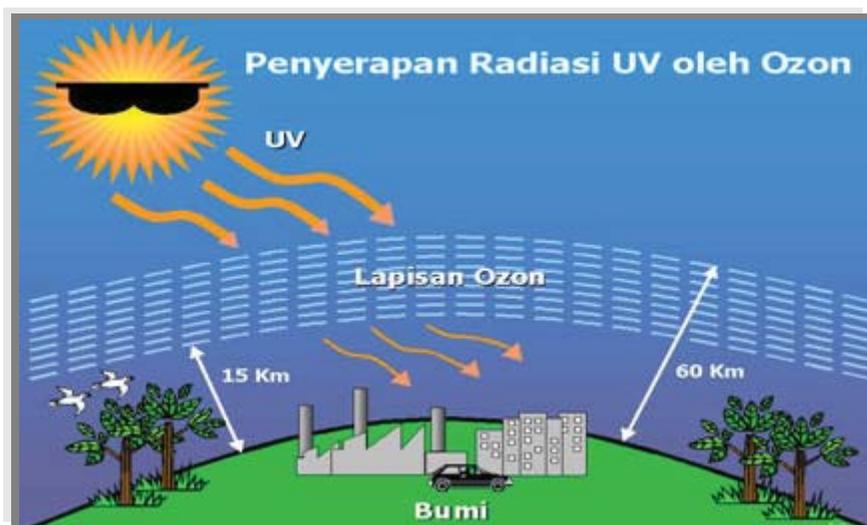
Tabel 7.17. Perkiraan emisi CO₂ per satuan berat bahan bakar

Sumber Bahan Bakar	Faktor Emisi CO %	Emisi CO ₂ kg.ton BB
Batu bara	248	2,48
Minyak bumi	317	3,17
Gas alam	275	2,75
Kayu	146	1,46
Kebakaran hutan	120	1,20

g. Metana (CH₄)

Metana merupakan cemaran gas yang bersama-sama dengan CO₂, CFC, dan N₂O menyebabkan efek rumah kaca sehingga menyebabkan pemanasan global. Sumber cemaran CH₄ adalah sawah (11%), rawa (34%), hutan tropis (36%), pertambangan dll (5%). Efek rumah kaca dapat dipahami dari Gambar 30. Sinar matahari yang masuk ke atmosfer sekitar 51% diserap oleh permukaan bumi dan sebagian disebarkan serta dipantulkan dalam

bentuk radiasi panjang gelombang pendek (30%) dan sebagian dalam bentuk radiasi inframerah (70%). Radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan bumi tertahan oleh awan. Gas-gas CH_4 , CFC, N_2O , CO_2 yang berada di atmosfer mengakibatkan radiasi inframerah yang tertahan akan meningkat yang pada gilirannya akan mengakibatkan pemanasan global.



Gambar 7.47. Penyerapan radiasi UV oleh Ozon

h. Asap kabut fotokimia

Asap kabut merupakan cemaran hasil reaksi fotokimia antara O_3 , hidrokarbon dan NO_x membentuk senyawa baru aldehida (RHCO) dan Peroxy Acil Nitrat (PAN) (RCNO_5).

i. Hujan asam

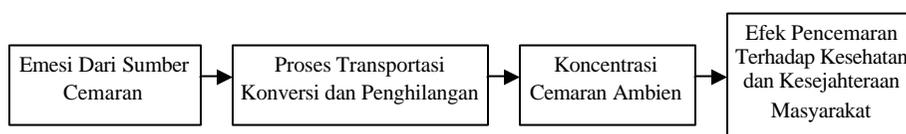
Bila konsentrasi cemaran NO_x dan SO_x di atmosfer tinggi, maka akan diubah menjadi HNO_3 dan H_2SO_4 .

Adanya hidrokarbon, NO_2 , oksida logam Mn (II), Fe (II), Ni (II), dan Cu (II) mempercepat reaksi SO_2 menjadi H_2SO_4 .

HNO_3 dan H_2SO_4 bersama-sama dengan HCl dari emisi HCl menyebabkan derajat keasaman (pH) hujan menjadi rendah < 5,7. pada umumnya kisaran pH hujan asam 4 - 5,5

3. Pencemaran Udara Ambien

Kualitas udara ambien merupakan tahap awal untuk memahami dampak negatif cemaran udara terhadap lingkungan. Kualitas udara ambien ditentukan oleh: (1) kuantitas emisi cemaran dari sumber cemaran; (2) proses transportasi, konversi dan penghilangan cemaran di atmosfer. Kualitas udara ambien akan menentukan dampak negatif cemaran udara terhadap kesehatan masyarakat dan kesejahteraan masyarakat (tumbuhan, hewan, material dan lain-lainnya)



Gambar 7.48. Skema Rantai Emisi - Dampak Cemaran Udara

Informasi mengenai efek pencemaran udara terhadap kesehatan berasal dari data pemaparan pada binatang, kajian epidemiologi, dan pada kasus yang terbatas kajian pemaparan pada manusia. Penelitian secara terus menerus dilakukan dengan tujuan:

- (1) Menetapkan secara lebih baik konsentrasi dimana efek negatif dapat dideteksi,
- (2) Menentukan korelasi antara respon manusia dan hewan terhadap cemaran,
- (3) Mendapatkan informasi epidemiologi lebih banyak, dan
- (4) Menjembatani gap informasi dan mengurangi ketidakpastian baku mutu yang sekarang diberlakukan.

Baku mutu kualitas udara lingkungan/ambien ditetapkan untuk cemaran yaitu: O₃ (ozon), CO (karbon monoksida), NO_x (nitrogen oksida), SO₂ (sulfur oksida), hidrokarbon non-metana, dan partikulat. Baku Mutu Kualitas Udara Nasional Amerika (Tabel 13) yang telah dikaji oleh *National Academics of Science and Environmental Protection Agency* (NEPA) menetapkan baku mutu primer dan baku mutu sekunder.

Tabel 7.18. Baku Mutu Kualitas Udara Ambien Nasional (USA)

Cemaran	Waktu rata-rata	Buku mutu primer	Buku mutu sekunder	Sasaran umum
Ozon	1 jam	240 µg/m ³ (0,12 ppm)	240 µg/m ³ (0,12 ppm)	Untuk mencegah iritasi mata dan kemungkinan gangguan fungsi paru pada orang dengan penyakit paru kronis, dan mencegah kerusakan tumbuhan.
Karbon monoksida	8 jam	10 µg/m ³ (9 ppm)	10 µg/m ³ (9 ppm)	Untuk mencegah gangguan transportasi oksigen pada darah.
	1 jam	40 µg/m ³ (35 ppm)	40 µg/m ³ (35 ppm)	
Nitrogen dioksida	Rerata tahunan	100 µg/m ³ (0,05 ppm)	100 µg/m ³ (0,05 ppm)	Untuk mencegah resiko pada kesehatan masyarakat dan pelunturan warna kain
Sulfur dioksida	Rerata tahunan	80 µg/m ³ (0,03ppm)	-	Untuk mencegah iritasi paru
	24 jam	365 µg/m ³	-	
	3 jam	-	1300 g/m ³ (0,05 ppm)	Untuk mencegah bau
Partikulat tersuspensi	Rata-rata geometrik 24 jam	75 µg/m ³	60 µg/m ³	Untuk mencegah efek terhadap kesehatan akibat paparan terus menerus dan lama
		260 µg/m ³	150 µg/m ³	
Hidrokarbon	3 jam	160 µg/m ³ (0,24 ppm)	160 µg/m ³ (0,24 ppm)	Untuk mencegah pembentukan oksidan.

Baku mutu primer ditetapkan untuk melindungi pada batas keamanan yang mencukupi (*adequate margin safety*) kesehatan masyarakat dimana secara umum ditetapkan untuk melindungi sebagian masyarakat (15-20%) yang rentan terhadap pencemaran udara. Baku mutu sekunder ditetapkan untuk melindungi kesejahteraan masyarakat (material, tumbuhan, hewan) dari setiap efek negatif pencemaran udara yang telah diketahui atau yang dapat diantisipasi. Baku Mutu Kualitas Udara Ambien Indonesia yang ditetapkan dengan mempertimbangkan dan mengacu baku mutu negara lain di antara Baku Mutu Kualitas Udara Ambien USA disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 7.19. Baku Mutu Udara Ambien (Indonesia)

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metoda Analisis
Sulfur dioksida	24 jam	260 µg/m (0,10 ppm)	Para-rosanilin
Karbon monoksida	8 jam	2260 µg/m ³ (20 ppm)	Non Dispersive Infrared (NDIR)
Oksida nitrogen	24 jam	92,5 µg/m ³ (0,05 ppm)	Saltzman
Oksidan	1 jam	200 µg/m ³ (0,10 ppm)	Chemiluminescent
Debu	24 jam	0,26 µg/m ³	Gravimetri
Timah hitam	24 jam	0,06 µg/m ³	Gravimetrik Absorpsi atom

Berdasarkan baku mutu kualitas udara ambien ditentukan baku mutu emisi berdasarkan antisipasi bahwa dengan emisi cemaran dibawah baku mutu dan adanya proses transportasi, konversi, dan penghilangan cemaran maka kualitas udara ambien tidak akan melampaui baku mutunya. Salah satu contoh baku mutu emisi adalah untuk Pembangkit Daya Uap dengan Bahan Bakar Batubara disajikan pada Tabel 6.19.

Tabel 7.20. Baku Mutu Emisi untuk Pembangkit Daya dengan Bahan Bakar Batubara

Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
1. Partikulat total	300
2. Sulfur dioksida	1500
3. Nitrogen oksida	1700

1. Prediksi Pencemaran Udara

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh sumber alami maupun sebagai hasil aktivitas manusia. Pada umumnya pencemaran yang diakibatkan oleh sumber alami sukar diketahui besarnya, walaupun demikian masih mungkin kita memperkirakan banyaknya polutan udara dan aktivitas ini. Polutan udara sebagai hasil aktivitas manusia, umumnya lebih mudah diperkirakan banyaknya, terlebih lagi jika diketahui jenis bahan, spesifikasi bahan, proses berlangsungnya aktivitas tersebut,

serta spesifikasi satuan operasi yang digunakan dalam proses maupun pasca prosesnya. Selain itu sebaran polutan ke atmosfer dapat pula diperkirakan dengan berbagai macam pendekatan. Bagaimana cara memperkirakan banyaknya polutan yang keluar dari sistem operasi tertentu, serta pendekatan yang digunakan untuk memprediksi sebaran polutan tersebut ke atmosfer akan diuraikan pada pembahasan berikut ini.

2. Faktor emisi

Apabila sejumlah tertentu bahan bakar dibakar, maka akan keluar sejumlah tertentu gas hasil pembakarannya. Sebagai contoh misalnya batu bara yang umumnya . ditulis dalam rumus kimianya sebagai C (karbon), jika dibakar sempurna dengan O₂ (oksigen) akan dihasilkan CO₂ (karbon dioksida). Namun pada kenyataannya tidaklah demikian. Ternyata untuk setiap batubara yang dibakar dihasilkan pula produk lain selain CO₂, yaitu CO (karbon monoksida), HCHO (aldehid), CH₄ (metana), NO_x (nitrogen dioksida), SO₂ (sulfur dioksida) maupun Abu. Produk hasil pembakaran selain CO₂ tersebut, umumnya disebut sebagai polutan (zat pencemar).



Gambar 7.49. Asap dari kegiatan industri

Faktor emisi disini didefinisikan sebagai *sejumlah berat tertentu polutan yang dihasilkan oleh terbakarnya sejumlah bahan bakar selama kurun waktu tertentu*. Dari definisi ini dapat diketahui bahwa jika faktor emisi sesuatu polutan diketahui, maka banyaknya polutan yang lolos dari proses pembakarannya dapat diketahui jumlahnya persatuan waktu.

Contoh 1:

Dirancang sebuah pembangkit listrik tenaga uap menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Kadar abunya 8%, kadar sulfurnya 0,5%, nilai kalornya 11.000 Btu/lb. Daya yang akan dibangkitkan sebesar 2.250 MW dengan efisiensi thermal sebesar 38%. Perkiraan banyaknya partikulat, NO₂ dan SO₂ yang teremisikan dari sistem ini adalah sebagai berikut:

Faktor emisi masing-masing polutan akibat terbakarnya batubara (dalam lb/ton batubara yang terbakar), adalah: partikulat = 16A, NO₂ = 20; SO₂ = 38 S dengan A dan S adalah prosen abu dan prosen sulfur dalam bahan bakar. (1 lb = 453,6 gram)

Energi yang diperlukan untuk menghasilkan daya sebesar 2250 MW adalah:

$$\begin{aligned} 2.250 \text{ MW} / 0,38 &= 5.930 \times 10^6 \text{ Watt} \\ &= 20.200 \times 10^6 \text{ Btu/Jam} \\ &\quad (\text{Watt} = 3,4114 \text{ Btu/jam}). \end{aligned}$$

Dari kebutuhan energi, maka kebutuhan bahan bakarnya adalah:

$$\begin{aligned} (20.200 \times 10^6 \text{ Btu/jam}) / (11.000 \text{ Btu/lb}) &= 1.834 \times 10^3 \text{ lb/jam} \\ &= 917 \text{ ton/jam}. \end{aligned}$$

Besarnya emisi masing-masing polutan dapat diperkirakan sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Partikulat} &: (16 \times 8 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} &= 117.300 \text{ lb/jam} \\ \text{NO}_2 &: (20 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} &= 18.340 \text{ lb/jam} \\ \text{SO}_2 &: (38 \times 0,5 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} &= 17.400 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Jumlah emisi partikulat dapat dikurangi jika pada sistem tersebut dilengkapi dengan satuan operasi lain (alat pengendali emisi partikulat) seperti elektrostatis presipitator misalnya,

Contoh 2:

Perkiraan emisi partikulat dari sistem di atas, jika sistem dilengkapi dengan EP yang mempunyai spesifikasi:

Ukuran partikel, pm	0-5	5-10	10-20	20-44	>44
Efisiensi, %	75	94,5	97	99,5	100

yang sama. Oleh karena itu walaupun bahan bakarnya sama, jika tipe sistemnya berbeda, maka emisi polutannya akan berbeda besarnya. Beberapa contoh Faktor Emisi (FE) berbagai bahan bakar maupun berbagai tipe sistem yang digunakan disajikan pada Tabel 7.21.

Tabel 7.21. Faktor Emisi Polutan pada pembakaran batubara, lb/ton coal

No	Polutan	Power Plant	Industri	Rumah tangga / Kantor
1.	Aldehid, HCHO	0,005	0,005	0,005
2.	Karbon Monoksida, CO	0,5	3	50
3.	Hidrokarbon, CH ₄	0,2	1	10
4.	Oksida Nitrogen, NO ₂	20	20	8
5.	Sulfur Dioksida	38S	38S	38S
6.	Partikulat	16A	16A	16A

S = sulfur dalam batubara ; A = % abu dalam batubara

Jika kadar abu dalam batubara 10%, kadar sulfurnya 0,8%, maka emisi masing-masing:

Partikulat = 16A = 16 x 10 lb/ton batubara

SO₂ = 38S = 38 x 0,8 lb/ton batubara

Tabel 7.22. Faktor Emisi Polutan pada pembakaran Gas Alam, lb/106 NG

No	Polutan	Power Plant	Industri	Rumah Tangga/ Kantor
1.	Aldehid, HCHO	1	2	N
2.	Karbon Monoksida, CO	N	0,4	0,4
3.	Hidrokarbon, CH ₄	N	N	N
4.	Oksida Nitrogen, NO ₂	390	214	116
5.	Sulfur Dioksida	0,4	0,4	0,4
6.	Partikulat	15	18	19

**Tabel 7.23. Faktor Emisi Polutan pada pembakaran
Fuel Oil, lb/1000 gallon FO**

No	Polutan	Power Rant	Industri	Rumah Tangga/Kantor
1.	Aldehyd, HCHO	0,6	2	2
2.	Karbon Monoksida, CO	0,04	2	2
3.	Hidrokarbon	3,2	2	3
4.	Oksida Nitrogen, NO ₂	104	72	72
	Sulfur Dioksida, SO ₂	157S	157S	157S
6.	Sulfur Trioksida, SO ₃	2,4S	2S	2S
6.	Partikulat	10	23	8

Beberapa contoh di atas baru menunjukkan banyaknya polutan yang teremisikan ke udara dalam satuan berat per satuan waktu, namun belum dalam satuan berat per satuan volume gas yang keluar dari sistem. Untuk mengkonversinya dapat dilakukan jika laju volumetris gas keluar sistem (m³/jam) diketahui. Pada umumnya baku mutu emisi dinyatakan dalam kondisi standar/normal (tekanan 1 atm, suhu 25° C), sedang polutan gas keluar sistem umumnya berada pada kondisi lain. Untuk mengkonversikan dapat digunakan rumusan praktis sebagai berikut:

$$\frac{c_1}{c_n} = \frac{\left[\left(\frac{P}{T} \right)_1 \right]}{\left[\left(\frac{P}{T} \right)_n \right]}$$

dengan:

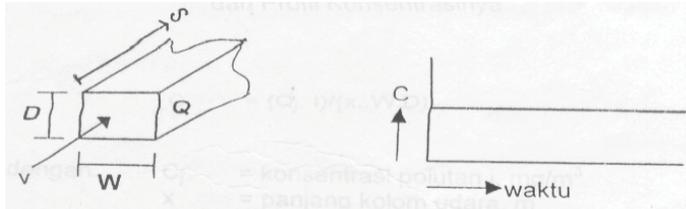
c_1 ; c_n = konsentrasi polutan pada kondisi 1 dan kondisi normal. $(P,T)_1$; $(P,T)_n$ = tekanan dan suhu pada kondisi 1 dan kondisi normal

3. Sebaran polutan

Polutan yang diemisikan dari sistem akan tersebar ke atmosfer. Konsentrasi polutan di udara sebagai hasil sebaran polutan dari sumber emisi dapat diperkirakan dengan berbagai pendekatan, diantaranya adalah dengan model kotak hitam (*black box model*), model distribusi normal Gaussian (*Gaussian Model*), dan model lainnya.

a. Model kotak hitam

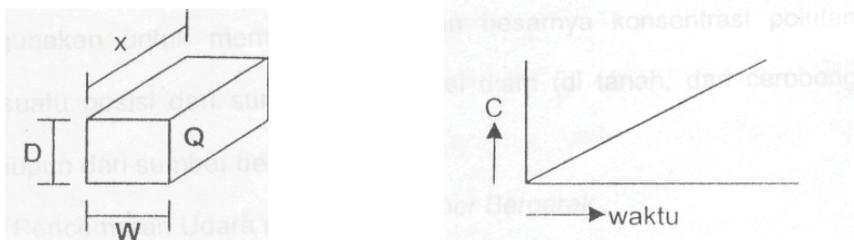
Polutan yang terdistribusi dianggap homogen dan mengalir keatas membentuk kolom udara, pada kecepatan angin (v). Pada keadaan ajeg, konsentrasi polutan dalam kolom udara di atas sumber emisi adalah:



Gambar 7.50. Model Kotak Hitam (Black Box) Standar dan Profil Konsentrasinya

- dengan:
- $C_j = (Q_j)/(v.W.D)$
 - C_j = konsentrasi polutan j, mg/m^3
 - v = kecepatan angin, dianggap konstan, m/det
 - Q_j = laju emisi polutan j, mg/det
 - D = tinggi kolom udara, m
 - W = lebar kolom udara, m

Selain model di atas dapat digunakan model kotak tertutup, terutama jika kecepatan angin sangat rendah (mendekati nol) sebagai berikut:



Gambar 7.51. Model Kotak Hitm Tertutup (Closed System) dan Profil Konsentrasinya

- dengan:
- $C_j = (Q_j \cdot t)/(x \cdot W \cdot D)$
 - C_j = konsentrasi polutan j, mg/m^3
 - x = panjang kolom udara, m
 - Q_j = laju emisi polutan j, mg/det
 - D = tinggi kolom udara, m
 - W = lebar kolom udara, m
 - t = waktu emisi, detik

Model kotak hitam umumnya digunakan untuk sumber emisi diam yang berada di tanah, misalnya tempat parkir, pemukiman, tempat pembakaran

b. Model Gaussian

Pada kenyataannya dispersi polutan sesungguhnya tersebar ke segala arah dengan konsentrasi bervariasi, mengingat kondisi atmosfer yang sangat kompleks. Untuk mengakomodasikan berbagai variabel lain yang mempengaruhi sebaran polutan, dilakukan penyusunan model lain. *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME) mempublikasikan Model Gaussian untuk kepentingan memprediksi dampak. Model tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya konsentrasi polutan (gas) di suatu posisi dari sumber emisi diam (di tanah, dari cerobong asap), maupun dari sumber bergerak.

1. Pencemaran Udara dari *Sumber Bergerak*

$$C_{(x,y,z)} = [(2Q/L)/[(2\pi)^{1/2} v.t_z^2]] [\exp \{-z^2/2.t_z^2\}]$$

2. Pencemaran Udara dari Sumber Tetap yang teremisikan *Melalui Cerobong Asap*

$$C_{(x,y,z)} = (Q/2\pi.v.t_z)[\exp\{-y^2/2.t_z^2\}][\exp\{-(z-H)^2/2.t_z^2\} + \exp \{-z+H\}^2/2.t_z^2}]$$

3. Pencemaran Udara dari *Sumber Tetap di Tanah*

$$C_{(x,y,z)} = (Q/\pi.v.t_y.t_z)\exp [-y^2/2.Ty^2 - z^2/2.T.z^2]$$

Untuk polutan partikulat dapat digunakan pendekatan:

$$C_{(x,y,z)} = (Q/\pi.v.t_y.t_z)\exp [-y^2/2.t_y^2] [\exp -1/2(H-z-xVp/v)^2]$$

Keterangan:

Q, = Laju emisi, mg/det

$C_{(x,y,z)}$ = Konsentrasi polutan pada koordinat x,y,z dari sumber emisi, mg/m

v = Kecepatan angin pada arah x, m/det

$t_y.t_z$ = Koefisien dispersi polutan ke arah y dan z, m

H = Tinggi efektif cerobong asap (h + Hs), m

h = Tinggi kepulan asap, m

Hs = tinggi aktual cerobong asap, m

L = panjang jalur jalan yang dilewati, m

Vp = Kecepatan jatuh partikulat, m/det

Penggunaan Model Gaussian memerlukan informasi tentang koefisien dispersi dan variasinya yang tergantung pada stabilitas atmosfer, maupun jarak ke arah mengalirnya angin. Koefisien dispersi secara empiris telah diperkenalkan oleh Pasquill-Gifford, Tennessee Valley Authority (TVA), maupun American Society of Mechanical Engineers (ASME). Kategori stabilitas atmosferik diberikan oleh Turner, 1970 seperti dilihat pada tabel 7.23.

Tabel 7.24. stabilitas atmosferik

Kec. Angin pada ketinggian 110 m, m/det	Siang			Malam	
	Kuat	Sedang	Lemah	Berawan	Cerah hingga berawan
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

c. Plume rise (kenaikan keputan asap)

Gerakan ke atas dari keputan gas dari ketinggian cerobong (*stack*), hingga asap mengalir secara horisontal dikenal sebagai "*plume rise*" atau kenaikan keputan asap. Kenaikan ini disebabkan adanya momentum akibat kecepatan vertikal gas maupun perbedaan suhu "*flue gas*" dengan udara ambien. Karena adanya *plume rise* ini, tinggi *stack* secara fisik tidak dapat digunakan pada persamaan Gauss. Sebagai gantinya, tinggi *stack* perlu ditambah dengan tinggi kenaikan keputan asap sehingga dikenal adanya tinggi *stack* efektif.

Beberapa kemungkinan kenaikan keputan asap, h dapat dihitung dengan rumus pendekatan sebagai berikut:

1. Beda suhu antara *flue gas* dengan udara ambien $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$$h = D_t (V_{gt}/v_t)^{1,4}$$

dengan: D_t = diameter bagian dalam *stack* (bagian atas), ml

V_{gt} = kecepatan alir gas, m/det

v_t = kecepatan angin, m/det

2. Beda suhu lebih besar atau sama dengan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, volume *flue gas* kurang dari $50\text{ m}^3/\text{det}$. maka besarnya *plume rise*,

$$h = [V_{gt} \cdot D_t / v_t] [1,5 + (36 \times 10^{-4} \cdot B_t \cdot D_t \cdot (T_{gt} - T_{ta}) / T_{gt})]$$

dengan: B_t = Tekanan udara ambien, mm Hg

T_{gt} = suhu flue gas, °K

T_{at} = suhu udar ambien, °K

Harga harus dikoreksi atas dasar stabilitas atmosferiknya.

Klas Stabilitas	Faktor Koreksi
Sangat tidak stabil, A-B	1,15
Tidak stabil, C	1,10
Netral, D	1,00
Stabil, E-F	0,85

3. Beda suhu lebih besar atau sama dengan 50 °C, volume *flue gas* lebih dari atau sama dengan 50 m³/det. maka besarnya *plume rise*,

Untuk kondisi stabil

$$h = 3,44 [V_{gt} \cdot D_t^2 / v_t \cdot B_t^{2/7}] [T_{at} / T_{gt}] [(T_{gt} - T_{at}) / (\partial T_{at} / \partial z)],$$

dengan: $\partial T_{at} / \partial z = (\Delta T_t / \Delta z) + 0,01$, °C/m

Untuk kondisi nefral dan tidak stabil

$$h = [10 / v_t] [V_{gt} \cdot D_t^2 \cdot H^2 \cdot (T_{gt} - T_{at}) / T_{gt}],$$

Contoh 4.

Perkiraan konsentrasi SO₂ pada sisi hilir dari sebuah PLTU 1.000 MIW pada jarak 1 km dan 5 km, yang menggunakan 10.000 ton batubara per hari sebagai bahan bakarnya, kadar sulfur 1%, tinggi stack efektif 250 m, angin bergerak dengan kecepatan 3m/det, diukur pada kondisi sedikit cerah, siang hari pada ketinggian 10 m.

x, km	Ty, 117	Tz, m
1	140	125
5	540	500

Kondisi atmosferik tidak stabil, kecepatan angin pada ketinggian stack efektif adalah sebesar:

$$v = v_1 (H/z_1)^n = 3(250/10)^{0,25} = 6,6 \text{ m/det.}$$

Jumlah sulfur
 = 10.000 ton/hari x 1/100
 = 100 ton/hari (27.777.700 mg/detik)

Emisi SO₂
 = (64/32)(27.777.700)mg/det
 = 55.555.400 mg/det.

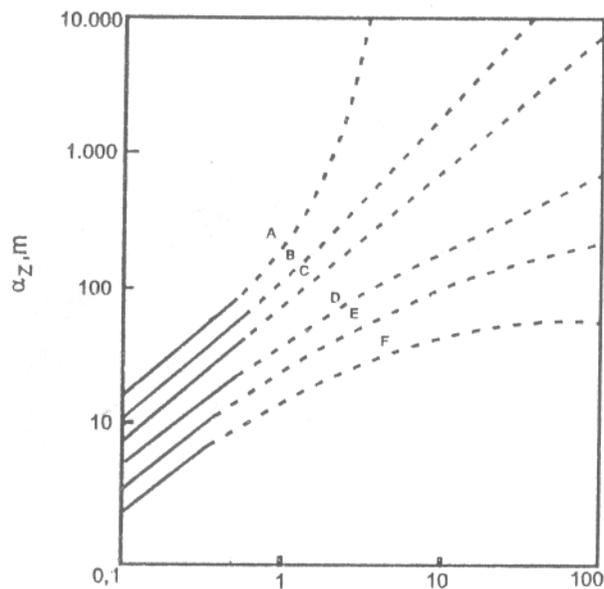
Pada *ground level concentration maximum (GLC)*, konsentrasi SO₂ adalah:

$$C_{1km} = [55.555.400/3,14.6,6 \times 140 \times 125] \exp\{-[2502/2(125)^2]\}$$

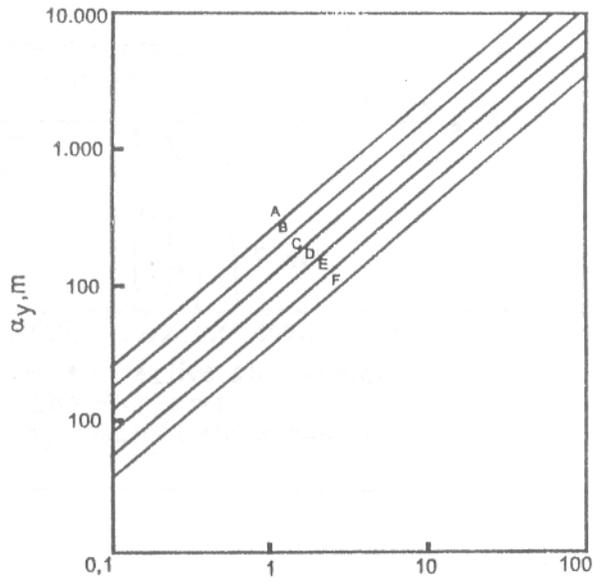
$$= 750 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C_{5km} = [55.555.400/3,14.6,6 \times 540 \times 500] \exp\{-[2502/2(500)^2]\}$$

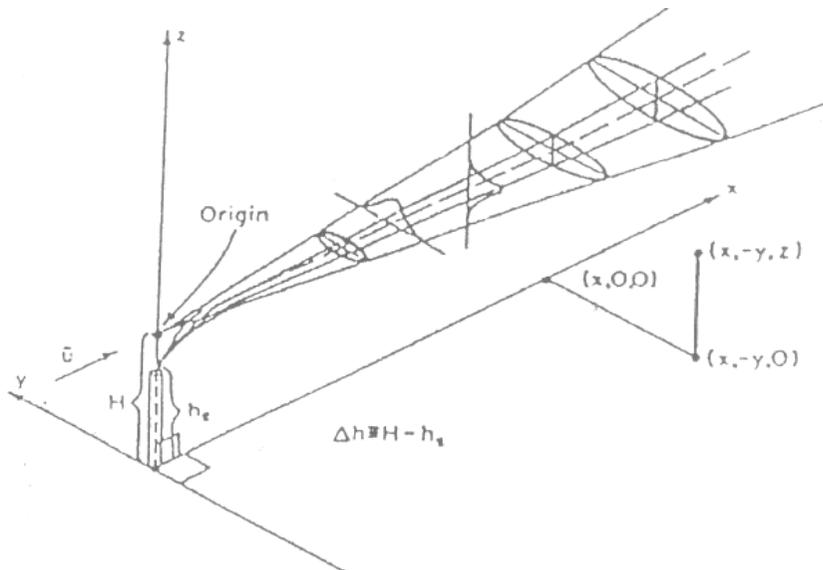
$$= 315 \mu\text{g}/\text{m}^3$$



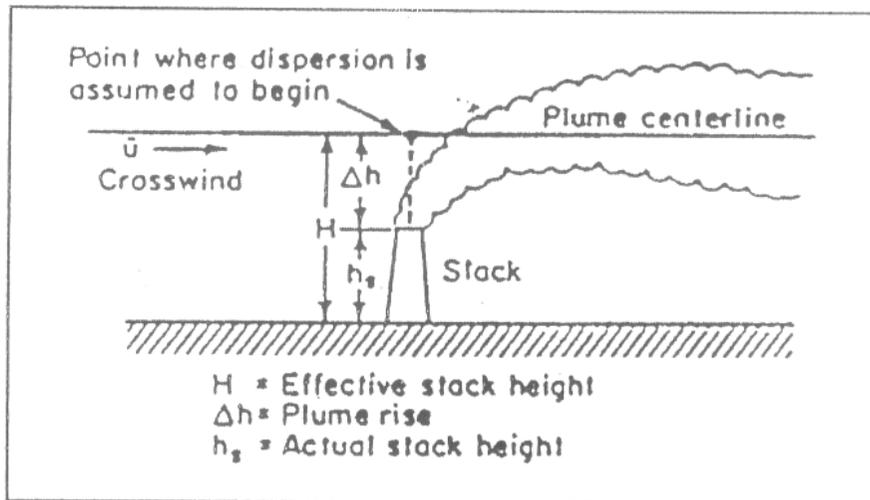
Gambar 7.52. Koefisien dispersi ke arah z.



Gambar 7.53. Koefisien dispersi ke arah y.



Gambar 7.54. Simulasi sebaran polutan gas ke berbagai posisi



Gambar 7.55. Tinggi kepulan asap dan tinggi stack efektif

d. Korelasi Antara Pencemaran Udara dan Kesehatan

Pencemaran udara dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia melalui berbagai cara, antara lain dengan merangsang timbulnya atau sebagai faktor pencetus sejumlah penyakit. Kelompok yang terkena terutama bayi, orang tua dan golongan berpenghasilan rendah yang biasanya tinggal di kota-kota besar dengan kondisi perumahan dan lingkungan yang buruk. Menelaah korelasi antara pencemaran udara dan kesehatan, cukup sulit. Hal ini karena:

1. Jumlah dan jenis zat pencemar yang bermacam-macam.
2. Kesulitan dalam mendeteksi zat pencemar yang dapat menimbulkan bahaya pada konsentrasi yang sangat rendah.
3. Interaksi sinergistik di antara zat-zat pencemar.
4. Kesulitan dalam mengisolasi faktor tunggal yang menjadi penyebab, karena manusia terpapar terhadap sejumlah banyak zat-zat pencemar yang berbahaya untuk jangka waktu yang sudah cukup lama.
5. Catatan penyakit dan kematian yang tidak lengkap dan kurang dapat dipercaya.
6. Penyebab jamak dan masa inkubasi yang lama dari penyakit-penyakit (misalnya: emphysema, bronchitis kronik, kanker, penyakit

jantung).

7. Masalah dalam ekstrapolasi hasil percobaan laboratorium binatang ke manusia.

Terdapat korelasi yang kuat antara pencemaran udara dengan penyakit bronchitis kronik (menahun). Walaupun merokok hampir selalu menjadi urutan tertinggi sebagai penyebab dari penyakit pernafasan menahun akan tetapi sulfur oksida, asam sulfur, partikulat, dan nitrogen dioksida telah menunjukkan sebagai penyebab dan pencetusnya asthma brochiiale, bronchitis menahun dan emphysema paru.

Hasil-hasil penelitian di Amerika Serikat sekitar tahun 70-an menunjukkan bahwa bronchitis kronik menyerang 1 di antara 5 orang laki-laki Amerika umur antara 40-60 tahun dan keadaan ini berhubungan dengan merokok dan tinggal di daerah perkotaan yang udaranya tercemar.

Hubungan yang sebenarnya antara pencemaran udara dan kesehatan ataupun timbulnya penyakit yang disebabkan olehnya sebetulnya masih belum dapat diterangkan dengan jelas betul dan merupakan problema yang sangat kompleks. Banyak faktor-faktor lain yang ikut menentukan hubungan sebab akibat ini. Namun dari data statistik dan epidemiologik hubungan ini dapat dilihat dengan nyata.

Pada umumnya data morbiditas dapat dianggap lebih penting dan berguna daripada data mengenai mortalitas. Apalagi penemuan-penemuan kelainan fisiologik pada kehidupan manusia yang terjadi lebih dini sebelum tanda-tanda penyakit dapat dilihat atau pun dirasa, sebagai akibat dari pencemaran udara, jelas lebih penting lagi artinya. Tindakan pencegahan mestinya telah perlu dilaksanakan pada tingkat yang sedini mungkin.

WHO Inter Regional Symposium on Criteria for Air Quality and Method of Measurement telah menetapkan beberapa tingkat konsentrasi pencemaran udara dalam hubungan dengan akibatnya terhadap kesehatan/ lingkungan sebagai berikut:

- Tingkat I : Konsentrasi dan waktu expose di mana tidak ditemui akibat apa-apa, baik secara langsung maupun tidak langsung.
- Tingkat II : Konsentrasi di mana mungkin dapat ditemui iritasi pada panca indera, akibat berbahaya pada tumbuh-tumbuhan, pembatasan penglihatan atau akibat-akibat lain yang merugikan pada lingkungan (*adverse level*).

- Tingkat III : Konsentrasi di mana mungkin timbul hambatan pada fungsi-fungsi faali yang fital serta perubahan yang mungkin dapat menimbulkan penyakit menahun atau pemendekan umur (*serious level*).
- Tingkat IV : Konsentrasi di mana mungkin terjadi penyakit akut atau kematian pada golongan populasi yang peka (*emergency level*).

Beberapa cara menghitung/memeriksa pengaruh pencemaran udara terhadap kesehatan adalah antara lain dengan mencatat: jumlah absensi pekerjaan/dinas, jumlah sertifikat/surat keterangan dokter, jumlah perawatan dalam rumah sakit, jumlah morbiditas pada anak-anak, jumlah morbiditas pada orang-orang usia lanjut, jumlah morbiditas anggota-anggota tentara penyelidikan pada penderita dengan penyakit tertentu misalnya penyakit jantung, paru dan sebagainya.

Penyelidikan-penyelidikan ini harus dilakukan secara prospektif dan komparatif antara daerah-daerah dengan pencemaran udara hebat dan ringan, dengan juga memperhitungkan faktor-faktor lain yang mungkin berpengaruh (misalnya udara, kebiasaan makan, merokok, data meteorologik, dan sebagainya).

a. Beberapa data epidemiologik

Fairbairn & Reid menemukan bahwa *incidence bronchitis*, lebih banyak pada pengantar pos di daerah dengan pedut tebal. Juga di London *incidence penyakit kanker paru* terbesar di bagian timur taut kota, di mana angin membawa pencemaran udara dari pusat dan bagian selatan kota. Dalam penyelidikan di Cracow (Polandia) tahun 1965 prevalensi gejalagejala penyakit pernafasan lebih besar didapatkan pada orang-orang yang tinggal di daerah pencemaran udara berat. Juga penyelidikan di Rotterdam terhadap 1000 anak sekolah yang tinggal di pusat kota (pencemaran tinggi) dan daerah permukiman baru di pinggiran kota menunjukkan bahwa anak-anak di daerah pinggiran kota rata-rata lebih tinggi dan lebih berat badannya. Colley dan Reid (1970) juga menemukan angka bronkhitis terendah di daerah pedesaan dan angka tertinggi di daerah yang terkena pencemaran berat. Hal ini terutama dijumpai pada anak-anak dan pekerja-pekerja yang setengah terlatih dan tidak terlatih

Beberapa penulis lain menemukan angka kematian karena kanker paru 10 kali lebih tinggi di dalam kota daripada di daerah rural. Juga pada bukan perokok angka-angka di daerah perkotaan untuk kanker paru ini 120% lebih tinggi daripada di daerah pedesaan. Dengan sebab yang belum jelas juga angka kematian karena kanker lambung 2 kali lebih tinggi di daerah dengan pencemaran tinggi.

b. Penyakit yang disebabkan oleh pencemaran udara

Penyakit-penyakit yang dapat disebabkan oleh pencemaran udara adalah:

- 1) *Bronchitis kronika*. Pengaruh pada wanita maupun pria kurang lebih sama. Hal ini membuktikan bahwa prevalensinya tak dipengaruhi oleh macam pekerjaan sehari-hari. Dengan membersihkan udara dapat terjadi penurunan 40% dari angka mortalitas.
- 2) *Emphysema pulmonum*.
- 3) *Bronchopneumonia*.
- 4) *Asthma bronchiale*.
- 5) *Cor pulmonale kronikum*.
Di daerah industri di Republik Ceko umpamanya, dapat ditemukan prevalensi tinggi penyakit ini. Demikian juga di India bagian utara di mana penduduk tinggal di rumah-rumah tanah liat tanpa jendela dan menggunakan kayu api untuk pemanas rumah.
- 6) *Kanker paru*. Stocks & Campbell menemukan mortalitas pada non-smokers di daerah perkotaan 10 kali lebih besar daripada daerah pedesaan.
- 7) *Penyakit jantung*, juga ditemukan 2 kali lebih besar morbiditasnya di daerah dengan pencemaran udara tinggi. Karbon-monoksida ternyata dapat menyebabkan bahaya pada jantung, apalagi bila telah ada tanda-tanda penyakit jantung ischemik sebelumnya. Afinitas CO terhadap hemoglobin adalah 210 kali lebih besar daripada O₂ sehingga bila kadar CO-Hb sama atau lebih besar dari 50%, akin dapat terjadi nekrosis otot jantung. Kadar lebih rendah dari itu pun telah dapat mengganggu faal jantung. Scharf dkk (1974) melaporkan suatu kasus dengan *infark myocard transmural* setelah terkena CO.
- 8) *Kanker lambung*, ditemukan 2 kali lebih banyak pada daerah dengan pencemaran tinggi.

9) *Penyakit-penyakit lain, umpamanya iritasi mata, kulit dan sebagainya* banyak juga dihubungkan dengan pencemaran udara. Juga gangguan pertumbuhan anak dan kelainan hematologik pernah diumumkan. Di Rusia pernah ditemukan hambatan pembentukan antibodi terhadap *influenza vaccin di* daerah kota dengan tingkat pencemaran tinggi, sedangkan di daerah lain pembentukannya normal.

Di Jepang sekarang secara resmi telah diakui oleh pemerintah pusat maupun daerah, sejumlah 7 macam penyakit yang berhubungan dengan pencemaran (*pollution related diseases*). yaitu:

- *Bronchitis kronika*
- *Asthma bronchiale*
- *Asthmatik bronchitis*
- *Emphysema pulmonum* dan komplikasinya
- *Minamata disease* (karena pencemaran air dengan methyl-Hg)
- *Itai-itai disease* (karena keracunan cadmium khronik)
- *Chronic arsenik poisoning* (pencemaran air dan udara di tambang-tambang AS).

Orang-orang dengan keterangan sah menderita penyakit ini, yang dianggap disebabkan oleh salah satu macam bahaya pencemaran, akan mendapat kompensasi akibat kerugian dan biaya perawatan dari penyakitnya oleh *polluters*.

4. Pengendalian Pencemaran Udara

a. Sumber dan Jenis Pencemaran Udara

Pencemaran udara ditinjau dari asalnya dapat dibagi menjadi dua. Pertama, yaitu pencemaran udara yang diakibatkan oleh aktivitas alam seperti hembusan angin yang membuat debu beterbangan, letusan gunung berapi yang mengeluarkan gas dan debu ke udara, aroma yang dikeluarkan flora dan fauna, kebakaran hutan, serbuk sari dari bunga, pembusukan hewan, dan tumbuh-tumbuhan, radioaktivitas alam. Dalam beberapa kasus pencemaran alamiah ini berskala sangat besar seperti letusan gunung berapi yang sekali meletus bisa mengeluarkan jutaan ton gas dan debu ke udara, ataupun kebakaran hutan yang asapnya bisa menyebar menutupi suatu kawasan yang sangat luas. Pencemaran udara

akibat aktivitas alam ini sangat sulit dikontrol oleh manusia, hanya kebakaran hutan saja yang bisa dikontrol.

Kedua, pencemaran udara yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti alat transportasi, pembangkit tenaga listrik non-PLTA, industri yang kesemuanya menghasilkan 5 macam polutan utama yang berbahaya yaitu partikulat, karbon monoksida, hidrokarbon, nitrogen oksida dan belerang oksida.

Pencemaran udara akibat aktivitas manusia sekarang ini sudah sangat berat. Sebagai contoh, diperkirakan polutan yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia di Amerika Serikat saja dalam satu tahun sebesar 300 juta ton (bandingkan dengan polusi belerang dioksida akibat pembakaran bahan bakar di Indonesia sekitar 160.000 ton/th dari batubara dan 3500 ton/th dari bahan bakar minyak). Pencemaran udara akibat aktivitas manusia ini yang akan dibahas dan cara penanggulangannya agar tidak berdampak negatif terhadap lingkungan hidup.

Sudah terbukti bahwa polutan bisa menimbulkan akibat negatif, antara lain kesehatan manusia seperti penyakit saluran pernafasan dan paru-paru, iritasi mata-kulit, alergi, dan lain-lainnya. Terhadap binatang selain pernafasan juga makanan seperti yang terjadi terdapat tumbuh-tumbuhan, antara lain kerusakan hutan akibat hujan asam, rusaknya warna daun, bunga, buah dan sebagainya. Tidak bisa diabaikan adalah kerusakan material akibat korosi, perubahan warna, pemecahan rantai molekul, kotor akibat debu, berkurangnya jarak pandang dan lainnya. Terhadap alam: adanya zat CFC/HCFC yang merusak lapisan ozon (pelindung bumi dari radiasi sinar ultra-violet matahari).

Aerosol di udara bersifat menyerap energi radiasi sinar ultraviolet matahari dan mengubahnya jadi panas yang membuat udara menjadi lebih panas. Naiknya kandungan gas karbon monoksida di atmosfer akan mengakibatkan terhalangnya pantulan panas bumi ke angkasa luar hal ini mengakibatkan terperangkapnya panas di atmosfer, sehingga suhu bumi menjadi naik dan akibat lanjutannya antara lain adalah naiknya permukaan air laut akibat meleburnya lapisan es di kutub bumi.

Secara garis besar ada dua macam zat pencemar di udara yang berasal dari emisi peralatan yang berkaitan dengan aktivitas manusia yaitu Gas dan Partikulat.

a. Gas

1. Senyawa belerang: SO_2 , SO_3 , H_2S
2. Karbon Oksida: CO , CO_2
3. Nitrogen Oksida: NO , NO_2 , NO_3
4. Halogen, Halida: HF , HCl , Cl_2 , CFC
5. Cyanida: HCN
6. Amonia: NH_3
7. Organik: Hidrokarbon seperti metana, etana, benzena, asam organik, formaldehida, alkohol, dll.

Beberapa jenis gas tersebut di atas mempunyai bau yang spesifik yang dapat dipakai sebagai indikator adanya pencemaran udara.

b. Partikulat

Partikulat dapat berbentuk zat padat atau cairan yang ukurannya lebih besar dari ukuran 1 molekul, tetapi kurang dari $1000 \mu\text{m}$. Partikulat yang terdispersi di udara di sebut Aerosol. Debu adalah hasil pemecahan zat padat sehingga berukuran 1 sampai $200 \mu\text{m}$. Asap adalah padatan atau butiran cairan hasil pembakaran zat organik dan berukuran antara $0,01$ sampai $1 \mu\text{m}$, demikian halusnnya ukurannya sehingga bisa terdispersi cukup lama di udara.

Polutan gas dan partikulat dilihat dari sumbernya dapat dibagi menjadi dua. Pertama, sumber bergerak, misalnya alat transportasi seperti mobil, bis, truk, pesawat udara, kapal, kereta api, dimana gas asap sisa hasil pembakaran di buang langsung ke udara. Kedua, sumber tidak bergerak, yaitu industri/pabrik yang emisi polutannya sebagian besar dikeluarkan lewat cerobong asap, sebagian lagi as ke lingkungan karena operasi peralatan pabrik yang tidak sempurna atau terbuka sehingga gas/partikulat dapat lolos ke udara.

2. Prinsip Dasar Pengendalian Pencemaran Udara

Dengan mengetahui jenis dan sumber zat-zat pencemar udara, maka dapat dilakukan dua tindakan untuk pengendalian pencemaran udara, yaitu: DI DALAM PROSES dan DI LUAR PROSES.

a. **Pengendalian di dalam proses**

1. Memperbaiki proses agar sisa pembakaran seminimal mungkin.
Ada empat hal yang bisa digunakan untuk meminimalisasi polutan di dalam emisi gas hasil pembakaran. Pertama, yaitu pemakaian bahan bakar yang bersih dan ramah lingkungan dengan kandungan belerang dan logam berat yang seminimal mungkin, seperti bensin yang tidak mengandung timbal (Pb) Kedua, yaitu pengaturan efisiensi pembakaran dengan mengatur perbandingan bahan bakar dan udara yang optimal. Ketiga, yaitu perancangan sistem pembakaran yang bagus agar pembakaran bisa berlangsung sempurna. Keempat, yaitu penerapan sistem energi terintegrasi dimana kebutuhan energi untuk pemanasan dan sisa energi yang akan di buang dihitung, kemudian aliran panas yang akan dibuang dimanfaatkan semaksimal mungkin sehingga secara netto energi simpan baru yang diperlukan bisa seminimal mungkin.
2. Memperbaiki proses agar bahan yang diproses terisolasi dari lingkungan.
Semua proses diusahakan dijalankan secara tertutup sehingga kalau ada emisi gas dan partikulat bisa dilokalisir untuk selanjutnya dialirkan ke unit pengolahan gas buang.
3. Memperbaiki kondisi proses .
Suhu, tekanan, kecepatan alir, kecepatan putaran, konsentrasi, dan lainnya agar efisiensi proses meningkat yang akhirnya akan membuat gas dan partikulat yang terbuang bisa minimal.
4. Memperbaiki peralatan agar tidak terjadi kebocoran lingkungan, dengan cara merawat peralatan secara rutin dan teliti, contohnya kran-kran, *packing* pompa-kompresor-flange.
5. Pemasangan alat penangkap polutan pada aliran gas yang akan dibuang ke lingkungan contohnya *elektrostatik precipitator cyclone, separator, absorber*; katalitik konverter, *bag filter, incinerator; absorber* karbon aktif, kondensor, dan lain-lain.
6. Perancangan dan pemasangan cerobong yang sesuai dengan ketentuan dan dengan memperhatikan kondisi lingkungan.
Khusus untuk perancangan dan pemasangan cerobong perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:
 - Tinggi cerobong sebaiknya minimal 2,5 kali tinggi bangunan di sekitarnya agar lingkungan sekitar tidak terkena turbulensi asap.

- Kecepatan aliran gas yang keluar cerobong sebaiknya berkecepatan minimal 20 m/detik agar gas yang keluar cerobong akan terhindar dari turbulensi.
- Perlu diingat bahwa untuk cerobong yang diameternya kurang dari 5 feet dan tingginya kurang dari 200 feet akan mengakibatkan konsentrasi di bagian bawah akan menjadi tinggi.
- Konsentrasi maksimum bagian permukaan tanah dari cerobong biasanya terjadi pada jarak 10 sampai 20 kali tinggi cerobong sesuai arah angin (*down wind*).
- Konsentrasi maksimum zat polutan berkisar 0,001% - 1% dari konsentrasi zat polutan di dalam cerobong.
- Semakin tinggi cerobong, semakin rendah konsentrasi maksimum zat polutan di permukaan.
- Cerobong dilengkapi dengan *sampling point* untuk mempermudah pengontrolan kualitas gas buang.

b. Pengendalian di luar proses

Pemilihan lokasi pabrik yang tepat dengan memperhatikan lingkungan sekitar permukiman, daerah industri, dan jenis industri. Penanaman pohon tinggi di sekeliling pabrik dan pinggir jalan, pengaturan perbandingan yang memadai antara luas daerah hijau dan luasan daerah terpakai. Pohon-pohon ini dapat berfungsi sebagai *buffer/penyangga* agar pengaruh negatif emisi gas buang dapat ditekan karena dengan adanya pohon-pohon tersebut sebagian gas buang seperti karbon dioksida dapat terserap.

c. Pengendalian dari Sumber Emisi

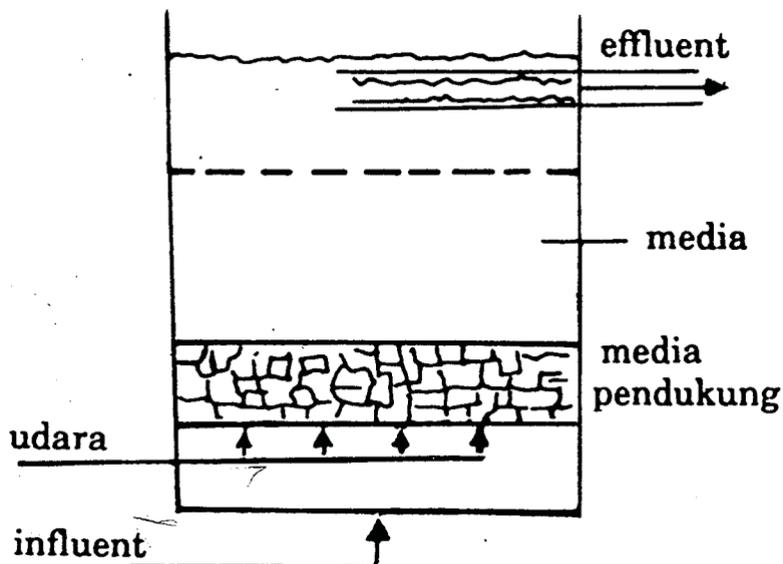
Sebelum membahas pengendalian pencemaran udara dari sumber emisi, lebih dulu perlu diketahui karakteristik berbagai jenis peralatan pengendalian pencemaran udara di dalam proses dan faktor-faktor yang mendasari pemilihannya. Dengan demikian alat-alat tersebut harus dipasang sebelum cerobong. Dengan mengetahui jenis alat yang dipakai, bisa dihitung konsentrasi zat polutan yang akan dibuang lewat cerobong sudah memenuhi baku mutu atau belum. Apakah alat yang dipakai perlu diganti dengan jenis lain yang efisiensi prosesnya lebih tinggi. Dengan memperhatikan standar baku mutu udara ambien dapat dirancang tinggi

cerobong yang diperlukan untuk mendispersikan sisa zat polutan di permukaan agar tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan.

▪ **Pemilihan jenis peralatan**

Banyak faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan jenis peralatan pengendalian pencemaran udara, beberapa di antaranya adalah:

1. Jenis proses produksi yang akan dikendalikan jenis gas.
2. Beban dan konsentrasi *outlet* yang diperlukan.
3. Kelembaban *inlet*.
4. Temperatur *inlet*.
5. Tekanan *inlet*.
6. Jenis, ukuran dan bet jenis partikulat.
7. Konsentrasi partikulat pada inlet alat.
8. Volume feed gas.
9. Karakteristik alat: efisiensi pemisahannya.
10. Biaya operasional.



Gambar 7.56. Metode nitrifikasi dengan filler

Media yang dipakai batu berukuran antara 1,0 – 1,5 inci, gravel 0,5 cm antrasit dan plastik 1,8 mm

B. Pengolahan Limbah Gas

Ada beberapa metode yang telah dikembangkan untuk penyederhanaan buangan gas. Dasar pengembangan yang dilakukan adalah absorpsi, pembakaran, penyerap ion, kolam netralisasi dan pembersihan partikel.

Pilihan peralatan dilakukan atas dasar faktor berikut:

- Jenis bahan pencemar (polutan)
- Komposisi
- Konsentrasi
- Kecepatan air polutan
- Daya racun polutan
- Berat jenis
- Reaktivitas
- Kondisi lingkungan

Desain peralatan disesuaikan dengan variabel tersebut untuk memperoleh tingkat efisiensi yang maksimum.

Kesulitannya sering terbentuk pada persediaan alat di pasaran. Pilihan desain yang diinginkan tidak sesuai dengan kondisi limbah, sebab itu harus dibentuk desain baru. Kemampuan untuk mendesain peralatan membutuhkan keahlian tersendiri dan ini merupakan masalah tersendiri pula.

Di samping itu ada faktor lain yang harus dipertimbangkan yaitu nilai ekonomis peralatan. Tidakkah peralatan mencakup sebagian besar investasi yang tentu harus dibebankan pada harga pokok produksi. Permasalahannya bahwa ternyata kemudian biaya pengendalian menjadi beban konsumen.

Atas dasar pemikiran ini maka pilihan teknologi pengolahan harus merupakan kebijaksanaan perlindungan konsumen baik dari sudut pencemaran itu sendiri maupun dari segi biaya.

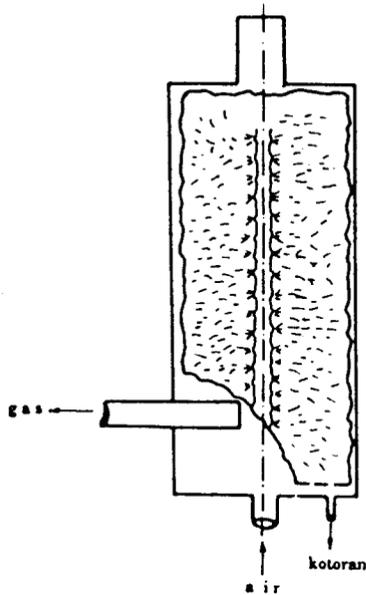
Pada umumnya jenis pencemar melalui udara terdiri dari bermacam-macam senyawa kimia baik berupa limbah maupun bahan beracun dan berbahaya yang tersimpan dalam pabrik.

Limbah gas, asap dan debu melalui udara adalah:

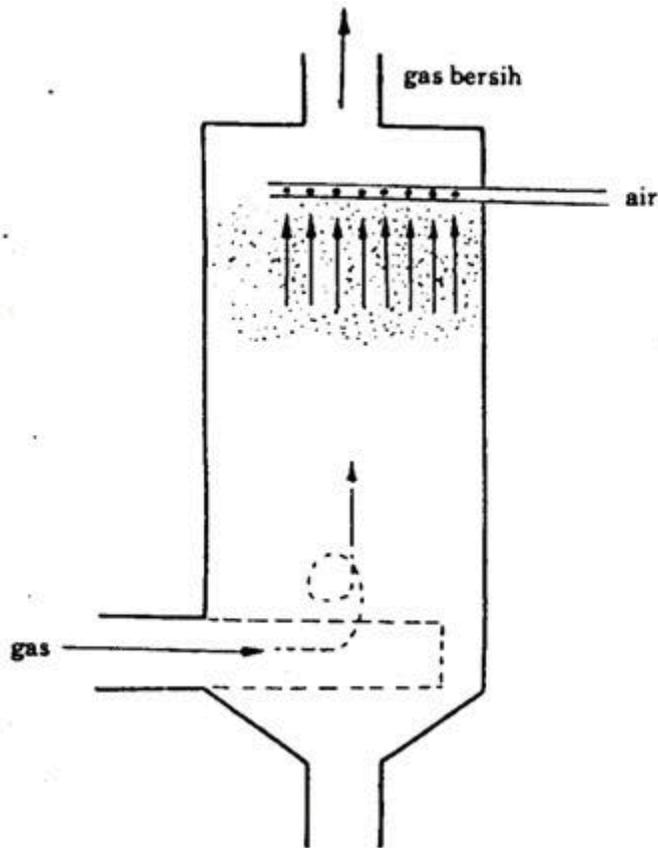
1. Debu : Berupa padatan halus
2. Karbon monoksida : Gas tidak berwarna dan tidak berbau
3. Karbon dioksida : Gas, tidak berwarna, tidak berbau
4. Oksida nitrogen : Gas, berwarna dan berbau

- 5. Asap : Campuran gas dan partikel berwarna hitam: CO₂ dan SO₂
- 6. Belerang dioksida : Tidak berwarna dan herbau tajam
- 7. Soda api : Kristal
- 8. Asam chlorida : Berupa larutan dan uap
- 9. Asam sulfat : Cairan kental
- 10. Amoniak : Gas tidak berwarna, berbau
- 11. Timah hitam : Gas tidak berwarna
- 12. Nitro karbon : Gas tidak berwarna
- 13. Hlhidrogen fluorida : Gas tidak berwarna
- 14. Nitrogen sulfida : Gas, berbau
- 15. Chlor : Gas, larutan dan berbau
- 16. Merkuri : Tidak berwarna, larutan

Berikut ini adalah jenis peralatan yang dipilihkan untuk pengolahan limbah gas.



Gambar 7.57. Seruber Model Tegak



Gambar 7.58. Menara Penyemprot

C. Pengoperasian Alat pengumpul debu

Tujuannya untuk mengurangi pencemaran udara akibat adanya debu agar memenuhi baku mutu emisi yang ditetapkan pemerintah yang diterima dari segi ekonomi.

Untuk menentukan sistem pencegahan pencemaran debu-partikulat, diperlukan informasi mengenai :

1. Proses Produksi yang mengeluarkan gas dengan pencemar debu-partikulat.

Jenis proses maupun karakteristik proses (misalnya : batch atau kontinu dan siklis atau non siklis, bahan baku yang digunakan) yang mengeluarkan gas buang dengan pencemar partikulat dapat digunakan untuk memprediksi kondisi dan komposisi gas buang dan kandungan debu-partikulat yang mungkin terbawa : suhu,

- tekanan, debit, fasanya zat pencemar : padat atau cair, distribusi ukuran debu partikulat. komposisi gas pembawanya.
2. Sifat fisik dan kimia gas pembawa debu — partikulat :
Suhu, tekanan, debit, komposisi kimia dan sifat kimiawinya dapat diukur, ditentukan dengan menganalisa secara kimiawi sehingga diperoleh data-data riil yang berguna dalam pemilihan dan perancangan sistim yang sesuai.
 3. Sifat fisik dan kimia debu — partikulat pencemar.
Fasanya berupa padat atau cair, konsantrasi debu-partikulat, bentuk dan distribusi ukuran partikel, sifat kelistrikkannya maupun sifat kimiawinya akan sangat menentukan dalam pemilihan sistim peralatan yang sesuai.

Sebagai contoh dalam industri peleburan besi-baja dimana bahan bakunya mengandung kurang dari 1 % senyawa Sodium dan Potassium, tetapi dengan tingginya suhu peleburan akan membuat hampir semua senyawa tersebut menguap sehingga dalam gas buang kandungan fume-partikel padat berbentuk bola yang sangat halus menjadi komponen utama dalam gas buang tanur. Selain itu tanur umumnya bekerja secara batch dan siklis sehingga debit, komposisi, sifat fisik dan kimia gas dan partikelnya setiap saat bisa berbeda-beda. Komposisi bahan baku utama dan bahan pembantu juga penting karena apabila bijih besinya mengandung belerang, maka kemungkinan akan keluar sebagai gas belerang dioksida yang bersifat korosif. Kondisi-kondisi inilah yang sangat menentukan tipe dan bahan peralatan penangkap yang tepat.

Persiapan peralatan *dust collector* :

1. Prinsip dasar yang digunakan dalam alat-alat pembersih gas dari debu -partikulat tipe ini adalah adanya gaya centripetal yang diterima oleh partikel debu yang berputar (*spinning*) dalam jalur sirkuler. Besarnya gaya ini :

$$F = MV^2 / R$$
 Dimana F : Gaya yang diterima partikel
 M : Massa partikel
 V : Kecepatan gas pembawa
 R : Radius lingkaran – putaran
2. Percepatan partikel V^2 / R dapat diatur dengan memilih harga-harga

V dan R yang tepat agar nilai akselerasi ini menjadi beberapa kali nilai gravitasi : g , sehingga gaya centripetal yang dihasilkannya juga meningkat.

Pengoperasian alat *dust collector* :

1. Menggunakan dasar *dust collector* untuk memisahkan debu-partikulat dari gas pembawanya adalah dengan mengalirkan gas yang membawa partikulat tersebut masuk silinder *dust collector* melalui horizontal tangential inlet sehingga aliran gas dalam *dust collector* menjadi berputar-cepat. Sehingga partikel debu akan mendapatkan gaya centripetal – terlempar kearah luar putaran gas – mendekati dinding *dust collector*.
2. Partikel akan terkonsentrasi di dekat dinding, turun berputar kebawah dan keluar dari bagian bawah *dust collector*.
3. Aliran gas akan berputar kebawah, dan berbalik arah naik keatas melalui bagian tengah *dust collector* dan keluar dari alas melalui pipa tengah.

Hawksley menurunkan rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi pemisahan debu di dalam *dust collector* sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\delta d^2 V_c}{18 \mu D}$$

- dimana
- η : efisiensi pemisahan *dust collector*
 - δ : densitas partikel
 - d : diameter partikel
 - V_c : kecepatan gas di inlet *dust collector*
 - μ : viscositas gas
 - D : diameter *dust collector*

Dari rumusan diatas dapat ditarik kesimpulan utama mengenai efisiensi *dust collector* :

- o Diameter *dust collector* : efisiensi *dust collector* akan meningkat dengan menurunnya diameter *dust collector*.
- o *Dust collector capacity* : efisiensi *dust collector* akan meningkatnya kapasitas *dust collector*. Kapasitas *dust collector* akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran gas masuk. Hal ini juga berarti dengan meningkatnya kapasitas *dust collector* maka ukuran

diameter partikel yang bisa dipisahkan akan menurun (semakin kecil ukuran partikelnya).

- o Suhu gas : gas dengan massa yang sama bila dinaikkan suhunya maka akan meningkat volumenya, sehingga kecepatan gas masuk akan meningkat akibatnya akan meningkatkan efisiensi. Tetapi kalau dilihat dari viskositasnya, dimana bila suhu meningkat viskositas gas akan meningkat, maka hasil akhirnya adalah penurunan efisiensi *dust collector*.

Masih banyak parameter yang sebetulnya mempengaruhi efisiensi *dust collector*, sehingga banyak bentuk persamaan matematis yang diturunkan untuk menghitungnya. Beberapa persamaan lain memasukkan faktor panjang *body dust collector*, dimana semakin panjang *body dust collector* ataupun panjang *dust collector* akan semakin tinggi efisiensinya. Demikian juga efisiensi akan meningkat dengan meningkatnya rasio diameter *body dust collector* dengan gas outlet diameter. Selain itu kenaikan *pressure drop* dalam *dust collector* akan menurunkan efisiensi, sehingga belokan tajam dalam *dust collector* harus dikurangi, agar hambatan aliran gas berkurang. *Dust collector* geometri diketahui juga besar pengaruhnya pada efisiensi, sehingga banyak sekali dikembangkan beberapa modifikasi geometri *dust collector*.

Salah satu persamaan matematis yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja *dust collector* adalah persamaan Lapple :

$$d_{0,5} = \left[\frac{9 \mu B^{-2} H}{\rho_p Q_g \theta} \right]^{1/2}$$

dimana : $d_{0,5}$: diameter partikel dimana efisiensinya 50%

μ : viscositas gas, Pa . s

B : lebar lubang inlet gas, m

H : Tinggi lubang inlet gas, m

ρ_p : densitas partikel, kg/m³

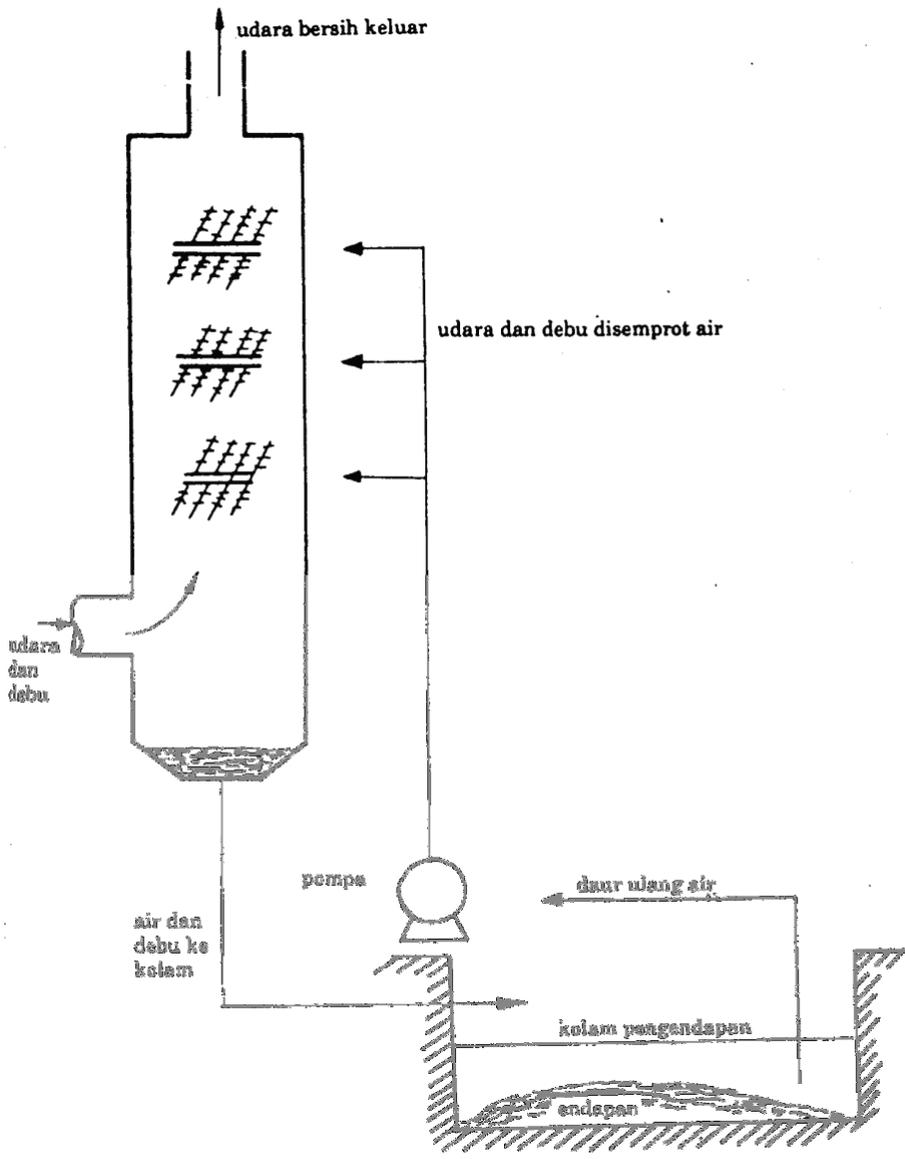
Q_g : flow rate gas, m³ / s

θ : Jumlah putaran efektif gas dalam *dust collector*, yang dihitung dari rumus

$$\theta = \frac{\pi}{H} (2 L_1 + L_2)$$

L_1 : panjang cylinder

L_2 : panjang *dust collector*



Gambar 7.59. Pemisahan udara dan debu dengan "Wet Scruber" dan kolam pengendapan

1. Scrubber

Alat ini digunakan untuk membersihkan gas yang mudah bereaksi dengan air. Prinsip kerjanya adalah mencampurkan air dengan uap dalam satu kolam. Pada umumnya arah aliran berlawanan agar kontak uap/gas dengan air dapat sempurna. Alat terdiri dari beberapa tipe: penyemprot, kolam, piringan dan putaran.

Menara Penyemprot

Gas kotor masuk dari bagian dasar akibat tekanan. Gas membubung ke atas sementara dari atas dimasukkan pipa air yang dilengkapi dengan *sprayer* (penyemprot), sehingga air keluar merupakan titik-titik air memenuhi menara. Karena gaya berat, titik air turun sementara gas naik bersama udara. Gas yang terkandung dalam udara bereaksi dengan air dan turun ke bawah lalu ditampung dan dialirkan ke tempat tertentu. Udara yang bersih keluar melalui cerobong atas. Faktor yang perlu diperhatikan adalah waktu kontak.

Jenis lain dari menara penyemprot yaitu *packet tower* dilengkapi dengan paking yang berfungsi memperluas permukaan kontak uap penceipar dengan air.

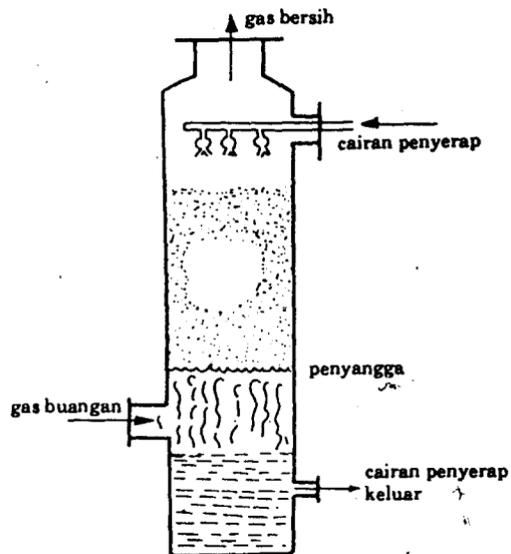
Plate tower adalah bentuk lain yaitu paking digantung dengan piringan yang berlobang-lobang. Air berada di atas piringan dan turun melalui lubang-lubang, sementara udara dan gas mengalir dari bawah.

Scrubber model tegak hampir mirip dengan menara penyemprot. Air dialirkan melalui pipa tegak (sejajar dengan kolam) berada di tengah-tengah kolam dan di sekeliling pipa dibuat lubang untuk menyemprotkan air. Gambar 22, 23 dan 24 adalah bagan alat pengolahan gas.

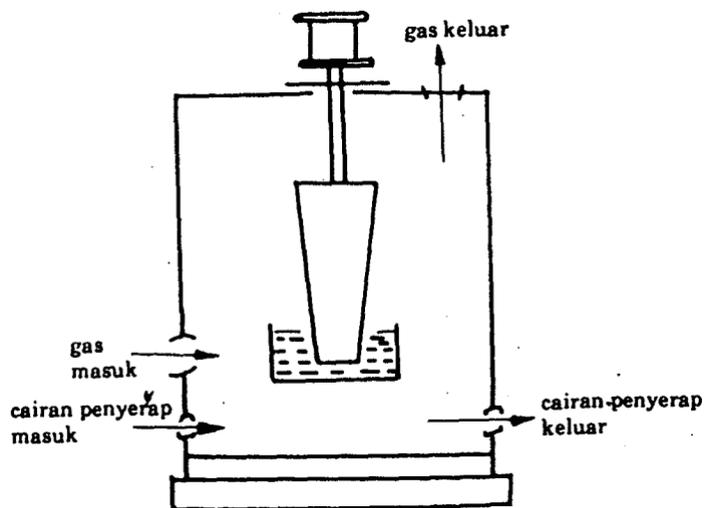
2. Pengolahan dengan Penyerapan (Absorpsi)

Prinsip penyerapan (absorpsi) adalah pemisahan zat pencemar bentuk gas melalui cairan penyerap yang tidak mudah menguap. Udara yang mengandung zat pencemar dialirkan melalui cairan penyerap yang tidak mudah menguap (seperti air) sehingga zat-zat tersebut terserap. Penyerapan berlangsung dengan mudah apabila kontak permukaan cukup luas. Untuk itu dilakukan dengan membentuk butiran cairan atau membentuk cairan yang berbentuk

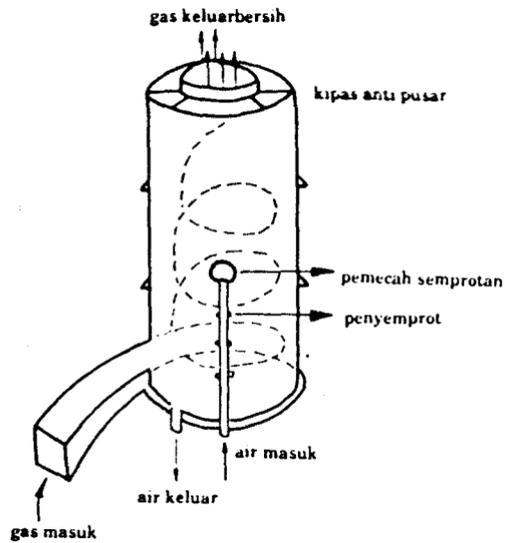
film yang mem buat gelembung gas.



Gambar 7.60. Menara isi



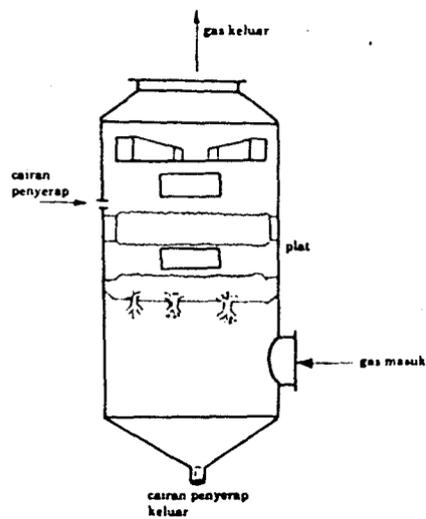
Gambar 7.61. Penyerap mekanis



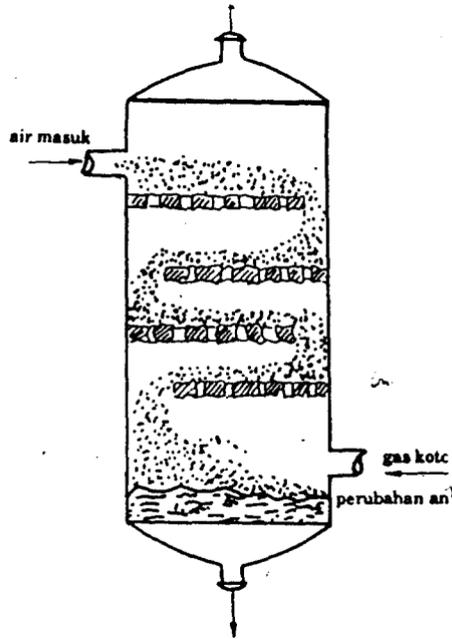
Gambar 7.62. Menara penyemprot tipe *cyclone*

Di samping itu perlu juga diperhatikan zat pencemar yang mudah dah bereaksi dengan zat penyerap seperti asam dengan alkohol.

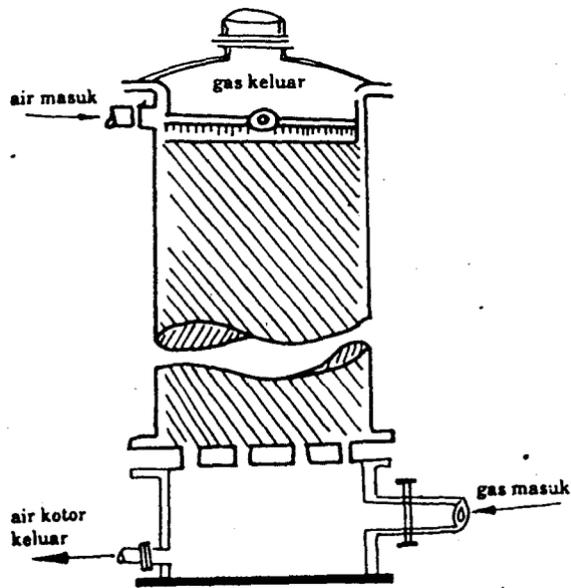
Ada 5 (lima) metode kerja absorpsi yaitu:



Gambar 7.63. Menara semprot



Gambar 7.64. Menara piringan



Gambar 7.65. Menara kotak

a. Menara Isi

Menara berbentuk silinder tegak diisi butiran pengisi untuk memperluas kontak permukaan. Cairan mengalir melalui butiran. Sementara itu gas dapat mengalir searah atau berlawanan arah dengan cairan penyerap.

Efektivitas alat sangat dipengaruhi distribusi gas yang mengalir melalui butiran pengisi. Butiran dapat dibuat dari bahan plastik atau karbon dengan ukuran 2,5 cm / s/d 5 cm. Lihat gambar 25, 26 dan 27.

b. Menara Semprot

Menggunakan cairan penyerap yang disemprotkan ke dalam menara dan cairan ini mudah bereaksi dengan gas, seperti gas chlor. Yang penting gas mudah larut dalam cairan.

Gas masuk dari bagian samping bawah silinder sementara butir cairan masuk dari samping silinder sebelah tengah. Gas dan butiran padat akan larut bersama cairan penyerap dan terbawa ke bawah sementara gas bersih keluar melalui pembuangan sebelah atas.

c. Penyerapan dengan Tarikan Cairan

Berfungsi untuk menarik partikel dari buangan gas. Cairan penyerap dibangkitkan dan terjadi kontak dengan partikel, sehingga terjadi ikatan partikel dengan cairan. Sementara gas terbangun melalui lubang pembuangan atas.

d. Semprot Cyclone

Alat ini merupakan silinder tegak yang sebelah bawah terdapat alat penyemprot. Gas masuk ke dalam silinder melalui saluran yang berbentuk tangensial. Aliran gas yang berjalan mengelilingi cairan menabrak butiran cairan sehingga terjadi penyerapan.

e. Penyerapan Mekanis

Alat diisi cairan penyerap dan diputar dengan kipas. Gas kotor masuk ke dalam cairan. Reaksi antara cairan dan gas berlangsung dengan cukup baik. Gas dan partikel yang mudah bereaksi tinggal bersama cairan sementara gas keluar sudah bersih.

Absorpsi oleh Benda Padat

Absorpsi adalah penyerapan gas dengan bahan padat. Zat padat dikontakkan dengan buangan gas, sehingga zat pencemar yang mudah bereaksi akan terikat bersama bahan padat. Penyerapan ini dapat berlangsung secara fisika maupun secara kimia. Penyerapan secara fisika yaitu merupakan kondensasi gas pada permukaan zat padat, sedangkan penyerapan kimia berupa reaksi yang membentuk molekul baru.

D. Limbah Gas

1. Pengolahan Limbah Padat

Pengolahan limbah padat menurut sifatnya dapat dilakukan melalui 2 cara yaitu:

1. Limbah padat tanpa pengolahan.
2. Limbah padat dengan pengolahan.

Limbah padat tanpa pengolahan dapat dibuang ke tempat tertentu sebagai tempat pembuangan akhir karena tidak ada unsur kimia yang beracun dan berbahaya terkandung di dalamnya. Limbah semacam ini dapat langsung dibuang ke tempat tertentu, misalnya areal daratan atau laut.

Berbeda dengan limbah padat yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun atau sedikit-tidaknya dapat menimbulkan reaksi kimia baru.

Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan sebelum limbah diolah yaitu:

a) Jumlah Limbah

Dapatkah limbah ditanggulangi sendiri dalam pabrik tanpa memerlukan peralatan pengolahan ataupun pengangkutan. Limbah dalam jumlah relatif sedikit tidak membutuhkan penanganan khusus, seperti tempat pembuangan dan sarana pembuangan. Tetapi kalau yang harus dibuang misalnya 4 m^3 setiap hari, sudah tentu memerlukan tempat pembuangan akhir dan mungkin memerlukan sarana angkutan tersendiri pula.

b) Sifat Fisik dan Kimia Limbah

Limbah padat terdiri dari berbagai macam wujud dan bentuk, tergantung pada jenis industrinya. Sifat fisik limbah akan mempengaruhi pilihan tempat pembuangan, sarana pengangkutan dan pilihan pengolahan. Limbah logam (kaleng, seng, potongan besi dan sebagainya) berbeda dengan limbah plastik atau kertas dan berbeda pula dengan limbah padat tepung tapioka. Limbah kertas dan plastik kemungkinan dapat diolah kembali untuk memperoleh produk baru.

Di samping sifat fisik limbah; sifat kimia suatu hal yang tidak dapat diabaikan. Sifat kimia limbah padat akan merusak dan mencemari lingkungan secara kimia yang dapat menimbulkan reaksi membentuk senyawa baru.

Limbah padat lumpur dari pabrik pulp dan rayon akan mencemari air tanah melalui penyerapan ke dalam tanah. Apakah limbah mengandung sulfur atau sianida dan lain-lain.

c) Kemungkinan Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan

Lingkungan terdiri dari berbagai komponen. Baik peka maupun tidak terhadap komponen pencemaran. Perlu diketahui pula komponen lingkungan yang rusak akibat pencemaran pada tempat buangan akhir. Unsur manakah yang terkena dan bagaimanakah tingkat pencemaran yang ditimbulkan.

Apakah cukup penting kehadiran komponen lingkungan tersebut dalam lingkungan itu sendiri atau memang perlu ditiadakan kehadirannya.

d) Tujuan Akhir yang Akan Dicapai

Ada beberapa tujuan yang hendak dicapai dalam upaya pengelolaan limbah. Tujuan ini tergantung pada tingkat limbah yang bersifat ekonomis maupun nonekonomis. Bagi limbah yang nonekonomis pengelolaannya ditujukan pada pencegahan dan kerusakan lingkungan, sedangkan limbah yang mempunyai nilai ekonomis dirinci dengan tujuan meningkatkan efisiensi pabrik secara keseluruhan dan untuk mengambil kembali bahan yang masih berguna dengan tujuan

lain.

Bagaimanapun pengolahan akhir harus mendapat perhatian utama yaitu mau dikemanakan limbah? Karena itu perlu dilakukan pengolahan sebelumnya untuk memperoleh limbah yang lebih mudah mengelolanya, seperti mudah memindahkan, mengangkut, tidak menimbulkan bau sewaktu dibawa dan lain-lain.

Berdasarkan pertimbangan di atas pengolahan limbah dapat dilakukan melalui proses sebagai berikut:

a. Pemisahan

Pemisahan dilakukan karena dalam limbah terdapat berbagai ukuran yang berbeda dan kandungan bahan tertentu. Pemisahan perlu dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi peralatan dan sekaligus mencegah kerusakan peralatan (mesin) yang tidak cocok dengan komponen bahan pencemar dalam limbah.

Pemisahan dilakukan sebagai berikut:

- 1) Sistem balistik. Pemisahan cara ini untuk memperoleh ukuran yang lebih seragam, misalnya berat mendekati seragam atau ukuran volume yang lebih seragam pula.
- 2) Sistem grafitasi
Pemisahan dilakukan berdasarkan gaya berat, misalnya bahan yang mudah terapung dengan bahan yang berat. Atau pada pemisahan biji sawit dengan serat dilakukan berdasarkan hembusan angin.
- 3) Sistem magnetis
Bahan yang bersifat magnet akan menempel pada magnet sedangkan yang tidak mempunyai sifat magnetis akan langsung berpisah. Alat ini banyak digunakan untuk memisahkan bahan yang bercampur antara logam dan nonlogam.

b. Penyusutan Ukuran

Ukuran perlu diperkecil untuk memperoleh ukuran yang lebih homogen sehingga lebih mudah memberi perlakuan terhadap pengolahan berikutnya dengan tujuan:

- 1) Bahan mempunyai ukuran yang lebih kecil dapat mencapai ukuran 1".
- 2) Bahan mempunyai volume lebih kecil (bahan lebih dipadatkan).
- 3) Bahan mempunyai berat yang lebih ringan dan volume lebih kecil. Cara ini pada umumnya dilakukan dengan pembakaran.

c. Pengomposan

Bahan organik yang terdapat dalam limbah diuraikan secara biokimia sehingga menghasilkan bahan organik baru yang lebih berguna. Hasil pengomposan dapat dijadikan pupuk tanaman. Sebelum dilakukan proses pengomposan kemungkinan diperlukan penisahan ataupun penyusutan ukuran agar hasil kompos lebih baik.

Pengomposan banyak dilakukan terhadap buangan yang mudah membusuk, sampah kota, buangan hewan, lumpur pabrik dan sebagainya.

d. Pembuangan Limbah

Setelah salah satu atau lebih proses dilakukan maka proses akhir adalah tempat pembuangan limbah. Tempat pembuangan limbah ada 2 macam yaitu:

1) Pembuangan di Laut

Laut cukup luas dan diperkirakan kecil sekali pengaruhnya terhadap kualitas air laut yang kemungkinan besar dapat menetralisasi bahan beracun dan berbahaya.

Pembuangan ke laut juga harus memperhatikan penggunaan laut oleh masyarakat di sekitar tempat buangan, seperti taman rekreasi, tempat nelayan mencari ikan, taman laut dan lain-lain. Di samping itu perlu diperhatikan dangkal tidaknya tempat pembuangan. Dari uraian ini jelas bahwa tidak semua limbah padat dapat dibuang ke laut terutama limbah yang mengandung senyawa kimia beracun dan berbahaya, seperti limbah radio aktif dan lain-lain. Di samping itu juga walaupun tidak ada bahan beracun dan berbahaya dalam limbah, tapi

mengingat pemanfaatan laut sebagai tempat rekreasi, lalu lintas kapal dan nelayan untuk mencari makan, maka pembuangan tidak dapat dilakukan di sembarang tempat.

2) Pembuangan Darat (Sanitary Landfill)

Penetapan tempat pembuangan di darat membutuhkan pertimbangan lebih seksama mengingat tidak semua daratan dapat dijadikan tempat pembuangan. Sebagaimana sudah disinggung bahwa pada tempat pembuangan harus diperhatikan komponen lingkungan yang mungkin harus dikorbankan terlepas dari nilainya apakah diperlukan atau tidak, tapi mengingat kepentingan yang lebih besar maka hal-hal yang lebih kecil harus kalah. Pemilihan lokasi *landfill* harus mempertimbangkan pengaruh iklim, temperatur, angin, keadaan struktur tanah, jaraknya dengan pemukiman penduduk, kemungkinan pengaruhnya terhadap sumber air, perkebunan, perikanan, peternakan, flora-fauna dan lain-lain. Hendaknya lokasi yang ditetapkan adalah lokasi yang benar-benar tidak ekonomis lagi untuk kepentingan apa pun.

Menurut keadaan lokasinya *landfill* dibedakan sebagai berikut:

1. *Landfill* lembah atau landai
Lerengnya terjal dan berbentuk lembah. Limbah dimasukkan secara bertahap dan bertingkat sampai sama datarnya dengan permukaan tanah di atas. Demikian dilakukan terus menerus.
2. *Landfill* galian
Tanah sengaja digali sesuai dengan keperluannya. Limbah dimasukkan ke dalam lubang galian dan bila sudah rata dengan permukaan tanah limbah ditutup dengan tanah lalu dipadatkan.
3. *Landfill* tanah datar
Limbah ditumpukkan pada tempat tertentu kemudian dipadatkan. Sesudah itu ditutup dengan tanah lalu dipadatkan lagi dan disusul lagi dengan timbunan berikutnya sampai berlapis-lapis. Bagian atas sekali ditutup dengan tanah lalu dipadatkan.

Tabel di bawah ini memuat jenis limbah padat dan sumbernya:

No.	Jenis Pabrik	Jenis Limbah	Sumber
1	2	3	4
	Pabrik tekstil	Selulose Serat asbestos	Bagian <i>cotton</i> <i>Wool grease</i>
2	Pabrik Kertas	Selulose 50% Liqnin Pentosan Bahan padatan Lumpur CaCO ₃	- Kulit kayu - Pernikel kayu
3.	Pabrik kulit	Collagan Tanah/pasir Kotoran Endapan	Potongan kulit Debu kulit Bulu
4	Pabrik Kimia	Selulose Polimer	
5.	Pabrik batubara minyak dan pabrik energi	Tawas NaNO ₃ Deterjen Silika Al ₂ O ₃ Serfikan Tanah hat Kaolin	Besi NaOH Kapur Kapur Pemotongan Cetakan Bahan penolong
6	Pabrik industri logam dasar	Silika kapur Besi	Residu furnace Precipitator Kerak Batu kapur Pemotongan
7	Pabrikuningan	Cupper sang	
8	Pengecoran besi Penyulingan minyak atsiri	Tanah liat Pasir Bahan organik	Cetakan

Pada beberapa pabrik tertentu limbah air mengalir bersama limbah padat. Pada pengolahan limbah zat padat tersebut akan tinggal pada dasar wadah. Bila limbah langsung dialirkan ke sungai akan mengendap pada dasar sungai mengakibatkan pendangkalan secara perlahan-lahan.

Dalam hal lain terdapat pula limbah padat pada prapengolahan. Bahan baku membutuhkan pengolahan pendahuluan sebelum memasuki proses. Misalnya pembuangan kulit, penghancuran dan lain-lain.

Pabrik kertas menghasilkan limbah padat berupa lumpur dari bahan penolongnya sendiri. Kolam pengolahan air limbah seperti kolam pengendapan atau kolam aerasi harus dikuras untuk mengeluarkan lumpur yang bertambah hari bertambah menebal. Lumpur hasil kurasan ini pun membutuhkan tempat pembuangan baru.

Pabrik buah-buahan menghasilkan kulit dan serat-serat yang dalam tempo relatif singkat menciptakan bau tidak enak. Untuk mengatasi limbah tersebut perlu upaya pengendalian dan penanggulangan baik untuk tujuan daur ulang maupun untuk memenuhi syarat buangan.

Untuk beberapa jenis buangan tertentu barangkali tidak membutuhkan pengomposan tapi pembakaran. Untuk itu tahapan yang dilakukan pada umumnya meliputi sebagai berikut:

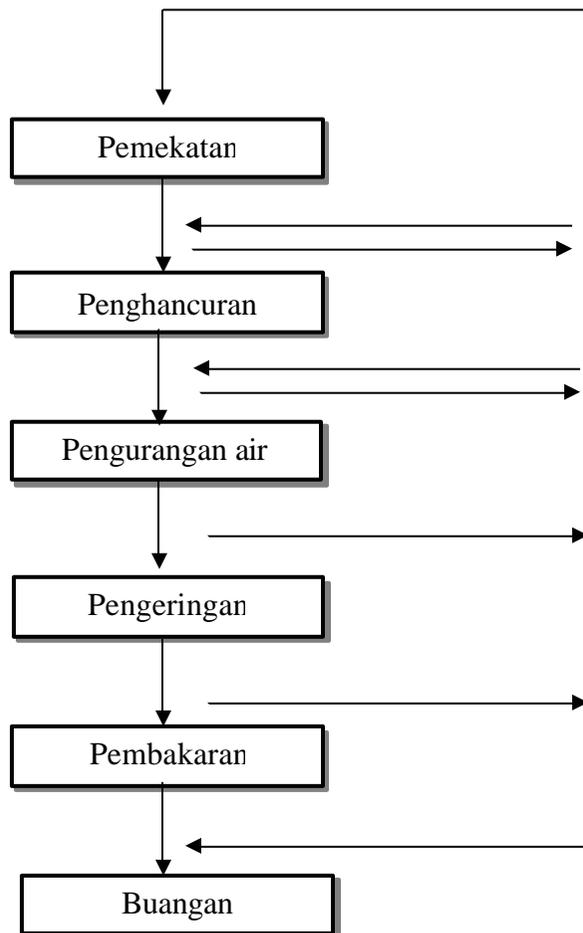
1. Pemekatan: untuk memudahkan penghancuran ditambahkan sejumlah air dengan bahan kimia tertentu. Dengan demikian bahan menjadi lebih lunak dan mudah menghancurkannya.
2. Penghancuran: bahan yang masih keras dihancurkan sehingga ukurannya lebih seragam, yang tidak dapat dihancurkan dibuang pada tempat yang telah tersedia.
3. Pengurangan air: melalui alat press atau penghisapan, kadar air dalam bahan dapat dikurangi. Pengurangan air sebelum proses lanjut memudahkan proses pengeringan. Apabila kadar air dalam suatu bahan meliputi 50% maka pada proses pengeringan kandungan air paling banyak kurang lebih 25%.
4. Pembakaran: bahan padat yang telah cukup kering dapat dibakar dengan mudah bila konsentrasi air kurang dari 10%.

5. Buangan: abu sisa pembakaran, sisa penghancuran, air dapat dibuang ke tempat yang telah ditetapkan.

Skema pengolahan bahan padat dapat dilihat pada bagan 12. Terdapat jenis pabrik tertentu yang banyak membuang limbah padat baik padatan bercampur air maupun padatan yang berdiri sendiri limbah ini pada umumnya sisa hasil olahan ikut bersama air buangan ataupun sisa bahan penolong yang tidak termanfaatkan lagi.

Tanah, pasir dan kotoran kadang-kadang ikut bersama bahan dan setelah melalui proses terbuang bersama air dan menimbulkan endapan.

Bahan buangan padat



Gambar 7.66. sistem pengolahan buangan padat

RANGKUMAN :

1. Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan yang terkandung dalam limbah cair oleh gaya gravitasi.
2. Septic tank adalah teknik pengolahan limbah yang amat lazim digunakan didunia untuk pengolahan limbah setempat dan skala kecil.
3. Cemaran primer adalah cemaran yang diemisikan secara langsung dari sumber cemaran.
4. Cemaran sekunder adalah cemaran yang terbentuk oleh proses kimia di atmosfer.
5. Faktor emisi disini didefinisikan sebagai *sejumlah berat tertentu polutan yang dihasilkan oleh terbakarnya sejumlah bahan bakar selama kurun waktu tertentu.*
6. Gerakan ke atas dari keputan gas dari ketinggian cerobong (*stack*), hingga asap mengalir secara horisontal dikenal sebagai "*plume rise*" atau kenaikan keputan asap.

CONTOH SOAL :

Contoh 1:

Dirancang sebuah pembangkit listrik tenaga uap menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Kadar abunya 8%, kadar sulfurnya 0,5%, nilai kalornya 11.000 Btu/lb. Daya yang akan dibangkitkan sebesar 2.250 MW dengan efisiensi thermal sebesar 38%. Perkiraan banyaknya partikulat, NO₂ dan SO₂ yang teremisikan dari sistem ini adalah sebagai berikut:

Faktor emisi masing-masing polutan akibat terbakarnya batubara (dalam lb/ton batubara yang terbakar), adalah: partikulat = 16A, NO₂ = 20; SO₂ = 38 S dengan A dan S adalah prosen abu dan prosen sulfur dalam bahan bakar. (1 lb = 453,6 gram)

Energi yang diperlukan untuk menghasilkan daya sebesar 2250 MW adalah:

$$\begin{aligned} 2.250 \text{ MW} / 0,38 &= 5.930 \times 10^6 \text{ Watt} \\ &= 20.200 \times 10^6 \text{ Btu/Jam} \\ &\quad (\text{Watt} = 3,4114 \text{ Btu/jam}). \end{aligned}$$

Dari kebutuhan energi, maka kebutuhan bahan bakarnya adalah:

$$(20.200 \times 10^6 \text{ Btu/jam}) / (11.000 \text{ Btu/lb}) = 1.834 \times 10^3 \text{ lb/jam} \\ = 917 \text{ ton/jam.}$$

Besarnya emisi masing-masing polutan dapat diperkirakan sebesar:

Partikulat : $(16 \times 8 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} = 117.300 \text{ lb/jam}$
 NO₂ : $(20 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} = 18.340 \text{ lb/jam}$
 SO₂ : $(38 \times 0,5 \text{ lb/ton}) \times 917 \text{ ton/jam} = 17.400 \text{ lb/jam}$

Jumlah emisi partikulat dapat dikurangi jika pada sistem tersebut dilengkapi dengan satuan operasi lain (alat pengendali emisi partikulat) seperti elektrostatis presipitator misalnya,

Contoh 2:

Perkiraan emisi partikulat dari sistem di atas, jika sistem dilengkapi dengan EP yang mempunyai spesifikasi:

Ukuran partikel, pm	0-5	5-10	10-20	20-44	>44
Efisiensi, %	75	94,5	97	99,5	100

Partikulat yang teremisikan ke udara mempunyai spesifikasi:

Ukuran partikel, μm	0-5	5-10	10-20	20-44	>44
% berat	15	17	20	23	25

Emisi partikulat ke udara setelah menggunakan EP adalah:

Ukuran partikel, μm	Emisi partikel, lb/jam	
0-5	$= (100-75,0)\% \times 15\% \times 117.300$	$= 4.398,75$
5-10	$= (100-94,5)\% \times 17\% \times 117.300$	$= 1.096,76$
10-20	$= (100-97,0)\% \times 20\% \times 117.300$	$= 703,80$
20-44	$= (100-99,5)\% \times 23\% \times 117.300$	$= 134,90$
> 44	$= (100-100)\% \times 25\% \times 117.300$	$= 0,0$
Jumlah	$= \dots\dots\dots$	$= 6.334,2$

Atau sebanyak $(6.334,21/117.300) \times 100\% = 5,4 \%$ dari total partikulat.

Contoh 3:

Sebuah Tempat Penampungan Akhir (TPA) sampah dengan sistem pembakaran terbuka mengemisikan 7,71 kg partikulat per ton sampah yang dibakar. Jika jumlah penduduk Semarang 1.300.000 orang, setiap orang rata-rata membuang sampah sebanyak 2,7 kg per hari selama 7 hari per minggu, maka perkiraan jumlah sampah dan partikulat yang teremisikan per hari adalah sebagai berikut:

Jumlah sampah:

$$\begin{aligned} 1.300.000 \text{ orang} \times 2,7 \text{ kg/hari/orang} &= 3.510.000 \text{ kg/hari} \\ &= 3.510 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Emisi partikulat:

$$7,71 \text{ kg/ton sampah} \times 3.510 \text{ ton sampah/hari} = 27.062 \text{ kg/hari}$$

LATIHAN SOAL :

1. Jelaskan tentang mekanisme pengolahan limbah?
2. Bagaimana cara penanggulangan pencemaran udara?
3. Apa fungsi dari dust collector?
4. Bagaimana untuk menetralkan bau yang terdapat pada limbah cair tahu?
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan COD, BOP, HRT?

DAFTAR PUSTAKA

- A.K.SHAHA. 1997, Combustion Engineering and Fuel Technology OXFORD & IBH PUBLISHING CO.
- Abdul Kadir, Prof., Ir., 1993. "Pengantar Tenaga Listrik", Edisi Revisi, PT Pustaka LP3ES, Jakarta.
- Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., "Chemische Technologie 2" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., 1995. "Kimia Teknologi 2", PT. Pradnya Paramita, Bandung.
- Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., 1995. "Chemische Technologie 1" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., "Kimia Teknologi 1", PT. Pradnya Paramita, Bandung.
- Brace, 1998. "Technology of Anodizing", Robert Draper Ltd., Teddington.
- Champbell, 1998. Prinsip of Manufacturing Materials & Processes, New Delhi.
- Corbitt, R. E., 1989. *Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Dennis, 2002. "Nickel and Chromium-Plating", Newnes-Butterworths.
- Don A. Watson, 2000. CONSTRUCTION MATERIALS AND PROCESSES. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.
- Erlinda N, Ir., 2004. "Korosi Umum", Seminar Masalah Penanggulangan Korosi dengan Bahan Pengubah Karat, LMN-LIPI.
- Gabe, 1998. "Principle of Metal. Surface Treatment and Protection", 2nd edition, Pergamon Press, London.
- George T Austin, E. Jasjfi (alih bahasa), 1995. "Industri Proses Kimia", Jilid 1, Edisi 5, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Handojo, L, 1995, "Teknologi Kimia", Jilid 2, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Katz, (Ed.) 1997. Methods Of Air Sampling and Analysis. Interdisciplinary Books and Periodical, APHA, Washington.
- Kenneth N.Derucher, Conrad P. Heins 1996. MATERIALS. FOR CIVIL AND HIGHWAY ENGINEERIG. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey

- Kertiasa Nyoman, 2006. "Laboratorium Sekolah & Pengelolaannya", Pustaka Scientific, Bandung.
- Kusmulyana, 1993. Pemantauan Kualitas Udara. Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.
- Lainer, 2000, "Modern Electroplating", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Lawrence H Van Vlack, 2000. Elements of Materials Science & Engineering. Addison-Wesley Publishing Company. Fourth edition.
- Lowenheim, F.A., 2000. "Modern Electroplating", John Wiley & Sons.
- M.G., Fontana, N.D. Greene, 2002. "Corrosion Engineering", Mc. Graw Hill Book Co.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., 1999 "Operasi Teknik Kimia", Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, 1999. "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., "Operasi Teknik Kimia", Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Misnah Pantono BE, Suhardi, Bsc., 1979. "Pesawat Tenaga Kalor/Ketel Uap 1", Edisi Pertama, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- N. Jackson. 1992, CIVIL ENGINEERING MATERIALS. The Mac Millan Press Ltd. New Jersey.
- Noil and Miller, 1997. Air Monitoring Survey Design. Ann Arbor Science, Michigan.
- Oetoyo Siswono, Drs, 1982. "Proses Kimia Industri" Akademi Perindustrian Yogyakarta.
- Perkins, H.C., 1994. Air Pollution. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.
- S. Juhanda, Ir., 1993. "Pengantar Lapis Listrik", Proceeding Diklat TPLS Bidang Elektroplating, LMN-LIPI.
- Sarengat, N., 2000. Dampak Kualitas Udara. Kursus AMDAL A, Bintari-UGM-UNDIP, Semarang.

LAMPIRAN A2

Silman, H., BSc., 1998. "Protective and Decorative Coating for Metals", Finishing Publications Ltd., London.

Slamet Setiyo, Ir., Margono B.Sc., 1982. "Mesin dan Instrumentasi 2", Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta.

Soedomo M. 1998. Pehigelolaan Limbah Gas dan Partikulat Lingkungan Perkotaan (Sumber Bergerak). Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.

Stern, A.C., 1996, *Air Pollution*, Third edition, Volume III *Measuring, monitoring, and surveillance of air pollution*. Academic Press, New York.

Tata Surdia Ir. Msc Met E; Kenji Chijiwa Prof. Dr. 2000, Teknik Pengecoran Logam. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.

Ulrich D. Gael, 1984. "A Guide To Chemical Engineering Process Design And Economics" John Wiley & Sons, USA.

Ulrich, Gael D., 1984, "A guide to chemical Engineering Process Design and Economics" John Wiley and Sons.

W.H.Taylor, 1999. CONCRETE TECHNOLOGY AND PRACTICE. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.

Wahyudin, K., 1990. "Kursus Elektroplating dan Penerapannya", Lembaga Metallurgi Nasional-LIPI - BENGPUSTAT III.

Bahan Bakar Dan Pembakaran,
www.chemeng.vi.ac.id/wulan/materi/lecture%20notes/umum

[Http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim Keselamatan Kerja](http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim%20Keselamatan%20Kerja) Departemen Kimia Institut Teknologi Bandung, 2002

<http://www.iaeste.ch/Trainees/Events/2007/IndustrialSightLeibstadt/>

<http://www.gc3.com/techdb/manual/cooltext.htm>

<http://www.indiamart.com/maitreyaenterprises/engineered-products.html>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot power station cooling tower zootalures.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot_power_station_cooling_tower_zootalures.jpg)

<http://www.lenntech.com/fran%C3%A7ais/chaudi%C3%A8re/eau-alimentation-chaudiere.htm>

<http://www.queensindustrial.com/service.htm>

http://www.geothermie.de/egec-geothernet/prof/heat_exchangers.htm

<http://www.sensorsmag.com/sensors/Level+and+Leak+Detection/A-Dozen-Ways-to-Measure-Fluid-Level-and-How-They-W/ArticleStandard/Article/detail/360729>

Integrated Biodiesel Plant & Palm Oil Mill, Agus Kismanto, BPPT,
[http://bfuel.biz/files/ako_integrated Biodiesel Plant Palm Oil Read Only pdf](http://bfuel.biz/files/ako_integrated_Biodiesel_Plant_Palm_Oil_Read_Only.pdf)
Teknologi Proses Produksi Biodiesel, Martini Rahayu,
www.geocities.com/markal_bppt/pubilsh/biofbbm/biraha.pdf
US Department of Energy (US DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy. *Improving*.

Compressed Air System Performance. DEO/GO-102003-1822. 2003.
[www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed air](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed_air)

Wiki, Instrumentasi, 3 Januari 2008, Wikipedia Ensiklopedia Bebas, Availabel [online]:<<http://id.wikipedia.org/wiki/Instrumentasi>>[19 Januari 2008]

www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Sy

[www_process-controls_cod-Metex-Aqualytic-images reaktore_klein_jpg_files\cod_reactor.htm](http://www_process-controls_cod-Metex-Aqualytic-images_reaktore_klein_jpg_files\cod_reactor.htm)

United Nations Environment Programme, "Peralatan Pemantauan", 2006, Available[online]< *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org*>

DAFTAR ISTILAH

Batch	:	Tumpak, Lumpok
Bubble Point	:	Titik gelembung
Boiling point	:	Titik Didih
Ball Mill	:	Penggiling Bola
BAPEDALS	:	Badan Pengendali Dampak Lingkungan
Continuous	:	Sinambung
Change of phase	:	Perubah fase
Crushing	:	Penghancuran
Dew Point	:	Titik Embun
Double pipe HE	:	Alat penukar panas tipe pipa ganda
DoT	:	Departemen of Transportastion
B 3	:	Bahan Berbahaya dan Beracun
Equipment	:	Peralatan
EP	:	Effisiensi Pembakaran
EPA	:	Environmental Policy Act
Furnace	:	Tungku
Grinding	:	Penggerusan
Generator	:	Penimbul Limbah
Handling	:	Penanganan
Heat Exhanger	:	Penukar Kalor, Penukar Panas Penukar Bahang
LD50	:	Lethal Dose Fifty
Piping system	:	Sistem pemipaan
Reboiler	:	Pendidih ulang
Rotary Drum Filter	:	Filter drum berputar
RCRA	:	Resource Conservation and Recovery Act
Separation	:	Pemisahan
Shell – Tube HE	:	Alat penukar panas tipe tabung selongsong
Size reduction	:	Pengecilan ukuran
Steady state	:	Keadaan tunak
Treatment	:	Perlakuan
TCLP	:	Toxicity Characteristic Leaching Procedur
Unit Operation	:	Satuan Operasi
Unit Process	:	Satuan Proses
USDOT	:	US Department of Transportation Act

ISBN 978-602-8320-41-2
ISBN 978-602-8320-44-3

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 16,170.00