

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Gambaran Umum Rumah Sakit

Rumah sakit adalah bagian yang tidak terpisahkan dari organisasi sosial dan medis. Rumah sakit berfungsi untuk menyediakan layanan kesehatan, baik pengobatan maupun pencegahan, serta layanan rawat jalan yang menjangkau keluarga dan lingkungan. Selain itu, rumah sakit juga merupakan pusat pelatihan bagi petugas kesehatan dan penelitian biososial (World Health Organization, 1956).

Selain itu, menurut PERMENKES RI No. 44 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Promosi Kesehatan Rumah Sakit bahwa Rumah Sakit adalah institusi pelayanan kesehatan perorangan secara penuh untuk menyediakan layanan kesehatan dengan cara rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Tujuan umum rumah sakit adalah sebagai pelayan kesehatan yang bermutu bagi masyarakat. Oleh karena itu, rumah sakit harus didukung dengan sarana prasarana yang memadai. Dengan demikian, rumah sakit dapat memberikan layanan kesehatan secara maksimal. Rumah sakit dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan bentuk pelayanannya, yaitu Rumah Sakit Umum (RSU) dan Rumah Sakit Khusus (RSK).

Rumah sakit yang menyediakan layanan kesehatan untuk semua jenis penyakit baik umum maupun spesialis adalah Rumah Sakit Umum (RSU). Rumah sakit yang memberikan layanan kesehatan secara khusus adalah Rumah Sakit Khusus (RSK). RSU memberikan layanan secara siaga 24 jam untuk mengatasi hal-hal yang bersifat gawat darurat. Selain itu RSU juga dilengkapi dengan fasilitas rawat inap, fasilitas bedah, farmasi, laboratorium, dan sebagainya, sedangkan RSK memberikan pelayanan khusus seperti trauma center, rumah sakit anak, rumah sakit jiwa, dan rumah sakit manula. Menurut Yahar (2010),

sebagian besar RSK merupakan rumah sakit yang didirikan bukan untuk memperoleh keuntungan dan biasanya berafiliasi dengan sektor pendidikan, misalnya perguruan tinggi, atau suatu pusat riset.

2.1.2 Arang Aktif sebagai Adsorben Limbah Cair B3

Kesehatan lingkungan, sarana prasarana, dan sumber daya manusia yang melakukan aktivitas pengolahan limbah harus benar-benar diperhatikan (Yahar, 2010). Hal ini dilakukan untuk meminimalkan risiko terjadinya kecelakaan kerja dan penyebaran penyakit (Yahar, 2010).

Prabowo (2009), melakukan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari tongkol jagung serta pengaplikasiannya untuk adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia. Tongkol jagung yang digunakan berukuran 0,5 mm, 0,3 mm, dan 0,06 mm. Tongkol jagung tersebut dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 2 jam dan diaktivasi pada suhu 800°C selama 30 menit dengan aktivator KOH.

Prabowo (2009), menggunakan metode titrasi iodometri dalam penelitiannya pada uji kemampuan adsorpsi Iodium dengan waktu kontak 1 jam. Hasilnya, kapasitas adsorpsi tongkol jagung terhadap molekul iodium, yaitu antara 633,46 mg/gr hingga 829,04 mg/gr. Kemampuan adsorpsi karbon aktif tongkol jagung yang terbesar terhadap iodium adalah yang berukuran 0,06 mm. Karbon aktif yang memiliki kemampuan terbesar dalam adsorpsi iodium adalah karbon aktif komersil Merck, yaitu 999,1 mg/gr.

Kemampuan adsorpsi karbon aktif tongkol jagung termasuk baik, meskipun tidak sebaik karbon aktif Merck. Hal ini disebabkan beberapa faktor, seperti kondisi operasi saat karbonisasi dan aktivasi yang kurang sesuai (Prabowo, 2009). Waktu yang berlebih ataupun terlalu singkat saat karbonisasi maupun aktivasi dapat menimbulkan abu yang mengandung mineral seperti kalium, natrium dan kalsium yang menutupi pori-pori sehingga iodium tidak teradsorpsi dengan baik (Prabowo, 2009).

Prabowo (2009), dalam penelitiannya juga melakukan adsorbs karbon aktif tongkol jagung dan karbon aktif Merck terhadap Pb dalam suatu larutan. Hasilnya, kemampuan adsorpsi terbesar terhadap ion Pb adalah karbon aktif tongkol jagung dengan ukuran 0,06 mm dengan persentase penyisihan 25,99 %. Karbon aktif yang memiliki kemampuan adsorbs terbesar adalah karbon aktif komersil Merck, dengan persentase penyisihan 34,42 %.

Prabowo (2009), menyimpulkan bahwa semakin kecil ukuran suatu adsorben, maka kemampuan adsorpsinya dalam suatu larutan akan semakin besar. Hal itu terjadi karena adsorpsi kimia yang terjadi membutuhkan situs aktif yang besar sebagai media adsorpsi. Semakin kecil ukuran karbon aktif tiap gramnya, maka semakin besar situs aktif tiap yang dimiliki tiap gramnya (Prabowo, 2009).

2.1.3 Batu Zeolit sebagai Adsorben Limbah Cair B3

Untuk mempertahankan lingkungan yang tetap terjaga kelestariannya serta menjaga manusia agar tetap sehat, pengolahan air limbah menjadi hal yang wajib dilakukan (John dkk, 2016). Batu zeolit digunakan sebagai adsorben polutan limbah karena dapat digunakan sebagai tempat pertukaran ion. Kation terlarut yang ada dalam air dihilangkan oleh pertukaran ion-kation ini (*ion exchange*), penyaring, adsorben, dan katalis.

John dkk (2016), membuktikan bahwa partikel tersuspensi dan terlarut dalam air limbah dapat dihilangkan dengan batu zeolit. Adsorpsi ini lebih efektif dibandingkan dengan pengolahan air limbah yang menggunakan bantuan mikroorganisme. Oleh karena itu, batu zeolit direkomendasikan untuk digunakan sebagai adsorben pada pengolahan air limbah yang mengandung logam berat seperti Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , dan Pb^{2+} . Batu zeolit juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi polutan yang mengandung radioaktif.

Sumarli dkk (2016), melakukan penelitian menggunakan batu zeolit untuk pengolahan limbah industri pakan ternak. Batu zeolit

digunakan untuk menurunkan kadar *Total Dissolved Solvent* (TDS) dan mengurangi warna keruh pada limbah industri pakan ternak. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode kontinyu. Hasilnya, terjadi penurunan TDS, dan penyerapan warna keruh dengan baik. TDS turun dari 1050ppm menjadi 844ppm.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tinjauan Umum Limbah Cair Rumah Sakit

Aktivitas rumah sakit yang menggunakan bahan-bahan beracun, infeksius, bahaya atau membahayakan menghasilkan limbah medis cair kecuali dilakukan pengamanan tertentu (KepMenKes, 2004). Semua buangan dari rumah sakit dari berbagai sumber termasuk tinja yang kemungkinan membahayakan kesehatan manusia merupakan Limbah cair (KepMenKes RI No. 1204/Menkes/SK/X/2004). Ada beberapa parameter limbah yang perlu diolah, yaitu *Total Suspended Solid (TSS)*, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, NH_3 bebas, pH, dan PO_4 (KepMenKes, 2004). Rumah sakit harus memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah yang sesuai persyaratan teknis yang ditetapkan oleh peraturan, untuk menampung limbah cair sesuai dengan karakteristik masing-masing limbah.

Pengolahan air limbah pada IPAL dapat menggunakan proses gabungan biologis dengan kimia fisika ataupun hanya menggunakan teknologi biologis (menggunakan mikroba) (Yahar, 2011). Proses biologis digunakan jika air limbah tersebut memiliki kadar BOD yang kecil. IPAL di kebanyakan rumah sakit saat ini menggunakan biofilm, proses aerasi kontak (*contact aeration process*), dan reaktor putar biologis (*rotating biological contactor*).



Gambar 2.1 IPAL RS PKU Muhammadiyah Gamping Yogyakarta

Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gamping Yogyakarta merupakan rumah sakit yang pengelolaan air limbahnya menggunakan teknologi biofilter anaerob-aerob. Karena itu, RS PKU Gamping termasuk rumah sakit tipe B. Limbah yang diolah di IPAL berasal dari kamar mandi, *laundry*, limbah medis cair non-radioaktif, dan bangsal. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 10 Tahun 2017, Limbah cair medis yang mengandung zat radioaktif harus dikelola terpisah sesuai aturan yang diberlakukan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

2.2.2 Jagung

Dikutip dari laman *Wikipedia*, Jagung (*Zea mays ssp. mays*) adalah salah satu tanaman yang mengandung karbohidrat terpenting di dunia, selain padi dan gandum. Bulir jagung adalah makanan pokok bagi penduduk Amerika Tengah, Amerika Selatan, dan sebagian Afrika. Beberapa daerah di Indonesia juga menjadikan jagung sebagai makanan pokok, seperti di Madura dan Nusa Tenggara.

Menurut Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI) (2014), rata-rata konsumsi jagung nasional sekitar 8% per tahun. Sementara angka kenaikan konsumsi jagung nasional adalah 6% per tahun. Hampir 70% hasil produksinya, jagung dimanfaatkan sebagai konsumsi manusia, sisanya digunakan untuk pakan ternak

bahan dasar tepung maizena, minyak pangan, dan berbagai produk industri (Elly LR dalam Suryani, 2009).

2.2.3 Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung

Limbah tongkol jagung setelah diambil bijinya kebanyakan dianggap tidak berguna sehingga hanya dibuang tanpa adanya pemanfaatan atau pengolahan terlebih dahulu. Padahal tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kerajinan, susu, plastik, hingga bahan bakar (Maulana, 2018). Dewasa ini, banyak penelitian mengenai tongkol jagung yang dijadikan arang aktif untuk dijadikan adsorben berbagai limbah.

Tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi karena sebagian besar tongkol jagung tersusun oleh lignin (6%), selulosa (41%), hemiselulosa (36%), dan senyawa lain yang biasa terdapat pada tumbuhan (Suryani, 2009). Aktivasi arang tongkol jagung dilakukan secara fisik dan kimia. Aktivasi secara kimia dengan larutan asam bertujuan untuk memperbesar pori-pori arang aktif tersebut.

2.2.4 Batu Zeolit Alam

Kandungan mineral zeolit terdapat di batuan piroklastik berbutir halus yang terdapat di banyak pegunungan Indonesia (Heraldi dkk, 2003). Batu zeolit alam adalah kristalin aluminasilikat dengan kerangka anionic kaku. Batu zeolit berbentuk kanal dan berongga. Terdapat kation logam: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yang dapat mengikat molekul air dalam rongga batu zeolit.

Batu zeolit memiliki porositas yang baik, luas permukaannya dapat disesuaikan, dan memiliki sifat yang baik untuk mengatasi polutan pada berbagai fase (cair ataupun gas) (Steffin dkk, 2016). Oleh karena itu batu zeolit mampu menjadi adsorben yang baik (Steffin dkk, 2016). Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaan padatan per satuan volume tertentu (Maulana dkk, 2015). Dengan demikian, semakin banyak zat yang dapat diadsorpsi (Maulana dkk, 2015).

2.2.5 Arang dan Arang Aktif

Arang adalah suatu benda berpori yang dihasilkan dengan cara pirolisis. Bahan baku yang digunakan adalah bahan yang mengandung karbon. Proses pembuatan arang dilakukan di ruang yang tertutup dengan udara seminimal mungkin agar bahan baku tidak terkarbonisasi dan teroksidasi sehingga berubah menjadi abu. Pembuatan arang dapat dilakukan dengan pemanasan secara langsung ataupun tidak langsung. Pemanasan tidak langsung menggunakan timbunan buatan, kiln, tanur, atau retort.

Arang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, misalnya sebagai bahan bakar. Namun, arang yang mengalami proses pengaktifan memiliki fungsi yang lebih baik lagi, seperti untuk elektronik, kesehatan, kecantikan, dan pertanian (Pari dkk, 2014).

Tujuan pengaktifan arang menjadi arang aktif adalah untuk membuka pori-pori arang. Luas arang biasa pada umumnya sekitar 2 m²/g, setelah diaktifkan luas arang mencapai 300-2000 m²/g. Rongga-rongga permukaan arang biasa (tanpa aktivasi) cenderung tertutup oleh deposit karbon yang menghambat sifat aktif arang tersebut. Oleh karena itu, arang aktif melalui proses kimia-fisika deposit tersebut dihilangkan. Dengan demikian, arang mampu menjadi adsorben karena pori-porinya yang sudah terbuka dan luas permukaannya bertambah (Gomez-Serrano dkk, 2003).

2.2.6 Proses Pengarangan dan Aktivasi Arang

Pengarangan menggunakan proses pirolisis, yaitu proses pemanasan dengan udara seminimal mungkin agar bahan yang dipanaskan tidak terkarbonisasi dan teroksidasi sehingga menjadi abu. Proses ini disebut "*high temperature carbonization*". Dipanaskan dengan suhu 450°C – 500°C. Proses ini menghasilkan berbagai macam gas seperti CO, CO₂, CH₄, H₂, dan hidrokarbon ringan. Berikut proses pengarangan secara umum:

1. Dehidrasi

Pada proses ini, kandungan air hilang pada suhu 170°C. Pada suhu 250°C – 300°C terjadi dekomposisi karbon sehingga terbentuk cairan berwarna hitam yang disebut tar. Tar merupakan hasil kondensasi hidrokarbon kompleks yang tidak diinginkan (Sayitno dkk, 2009). Pada rentang suhu tersebut juga terbentuk fenol, methanol, dan sebagainya (Erawati, 2014).

2. Karbonisasi

Pada proses ini, unsur oksigen dan hidrogen hilang dari karbon yang dihasilkan saat proses dehidrasi pada rentang suhu 400°C - 500°C. Menurut Hesseler (1951), untuk menghasilkan arang yang sesuai standar, karbonisasi dilakukan pada suhu di atas 400°C dan dengan bahan baku yang baik. Pada proses ini, terjadi perubahan unsur organik menjadi unsur karbon dan dekomposisi tar. Proses tersebut mengakibatkan pori-pori arang membesar. Hasil proses ini masih memiliki daya adsorpsi yang kecil karena pori-pori arang masih tertutup oleh deposit karbon. Oleh karena itu, perlu adanya proses aktivasi arang untuk membuka pori-pori tersebut dari deposit arang sehingga luas permukaan membesar (Hesseler, 1951).

3. Aktivasi Arang

Aktivasi arang dilakukan dengan tujuan untuk memperbesar pori-pori arang. Pori-pori arang dapat diperbesar karena aktivasi arang dapat memecah ikatan hidrokarbon dan mengoksidasi molekul-molekul. Oleh karena itu, arang mengalami perubahan sifat baik kimia ataupun fisika, dan meningkatkan luas permukaan sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi.

Pada dasarnya, proses aktivasi adalah peristiwa terjadinya interaksi antara zat bahan pengaktif (aktivator) dengan struktur atom hasil karbonisasi. Saat prosesnya, karbon dibakar pada kondisi oksidasi yang akan menambah jumlah dan luas pori-pori permukaan karbon melalui proses penghilangan volatil atau zat-zat yang mudah

menguap pada produk pirolisis (Sembiring dan Sinaga, 2003). Menurut Kinoshita (1988), proses aktivasi dilakukan dengan 2 cara:

a. Secara Kimia

Aktivasi secara kimia adalah aktivasi menggunakan bahan-bahan kimia agar rantai karbon dari senyawa organik terputus. Umumnya, aktivasi kimia dilakukan menggunakan aktivator garam-garaman seperti, Seng Klorida ($ZnCl_2$), Natrium Karbonat (Na_2CO_3), Kalsium Klorida ($CaCl_2$), Natrium Hidroksida ($NaOH$), Natrium Klorida ($NaCl$), dan Magnesium Klorida ($MgCl_2$). Namun, selain garam penggunaan asam dan basa juga dapat digunakan sebagai aktivator, antara lain Natrium Hidroksida ($NaOH$), Asam Klorida (HCl), Kalium Hidroksida (KOH), Asam Sulfat (H_2SO_4), dan Asam Hipoklorit (H_3PO_4).

b. Secara Fisika

Sembiring dan Sinaga (2003), menyebutkan bahwa aktivasi secara fisika adalah penggunaan uap, panas, dan CO_2 untuk memutus rantai karbon dari senyawa organik. Gas pada aktivasi fisika digunakan dengan tujuan untuk mengembangkan struktur rongga arang aktif. Dengan berkembangnya struktur rongga arang aktif maka, rantai karbon dari senyawa organik akan terputus, luas permukaan meningkat, serta sisa-sisa tar dan pengotor yang menutupi rongga arang aktif akan hilang. Penggunaan gas yang sifatnya inert seperti nitrogen berfungsi untuk menghambat arang aktif teroksidasi dan berubah menjadi abu dan untuk mengembangkan pori-pori arang (Sugiharto, 1978). Aktivasi fisika dilakukan pada kisaran suhu $450^\circ C$ - $800^\circ C$.

2.2.7 Syarat Mutu Arang Aktif

Saat ini Indonesia memiliki standar syarat baku mutu arang aktif, yaitu SNI 06-3730-1995 yang ditampilkan pada tabel 2.1. Syarat baku mutu arang aktif ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif agar arang aktif memiliki kualitas yang seharusnya. Dalam buku (standar arang aktif) disebutkan bahwa arang aktif memiliki persyaratan yang baik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Persyaratan Baku Mutu Arang Aktif menurut SNI 06-3730-1995

Uraian	Persyaratan Kualitas	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C (%)	Maks. 15	Maks. 25
Kadar air (%)	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu (%)	Maks. 2,5	Maks. 10
Bagian yang tidak mengarang	0	0
Daya serap terhadap I2 (mg/g)	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni (%)	Min. 80	Min. 60
Daya serap terhadap benzene (%)	Min. 25	-
Daya serap terhadap metilen biru (mg/g)	Min. 60	Min. 120
Berat jenis curah (g/ml)	0,45-0,55	0,30,35
Lolos mesh 325 (%)	-	Min. 90
Jarak mesh (%)	90	-
Kekerasan (%)	80	-

Sumber : Anonim (1995)

2.2.8 Aplikasi Arang Aktif

Berikut adalah beberapa aplikasi arang aktif pada industri, baik untuk adsorpsi limbah cair maupun gas:

Tabel 2.2 Aplikasi Arang Aktif pada Skala Industri

Industri	Fungsi	Ukuran (Mesh)
Obat dan makanan	Menyerap, menyaring, dan menghilangkan bau serta rasa	240
Kimi perminyakan	Menyuling bahan mentah	240
Permbersih air	Menghilangkan warna, bau, dan polutan logam berat	48
Industri gula	Menghilangkan zat pewarna dan filtrasi	32-48
Pemurnian gas		32-48
Katalisator	Menghilangkan gas beracun, belerang, dan bau asap	32-120
Pengolahan limbah pupuk	Menjernihkan limbah produksi dan menghilangkan bau busuk	240

Sumber : Sembiring dan Sinaga (2003)

2.2.9 Adsorpsi

1. Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses yang terjadi saat fluida gas maupun cair terikat pada padatan yang membentuk suatu *film* (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut (Saputra, 2008). Dalam proses adsorpsi terdapat padatan berpori yang menghisap dan melepaskan suatu fluida yang disebut adsorben. Selain itu, ada molekul fluida yang dihisap adsorben tetapi tidak melekat pada adsorben tersebut disebut *adsorptive*, sedangkan yang melekat disebut *adsorbate* (Saputra, 2008).

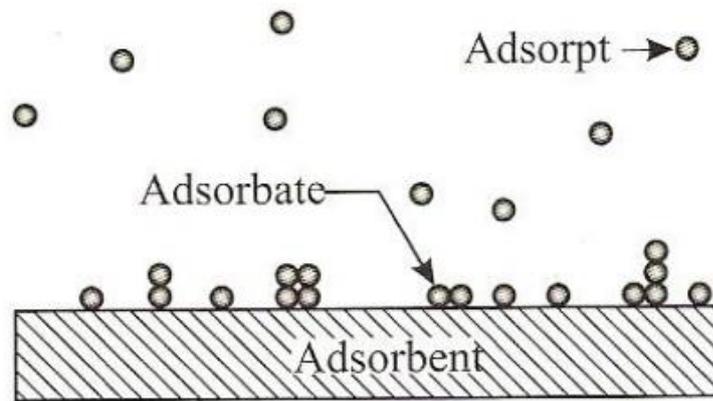
Menurut Saragih (2008), pada dasarnya, zat yang berperan sebagai adsorben adalah zat yang memiliki pori-pori pada permukaannya sehingga adsorbat mampu terserap. Arang aktif merupakan zat yang dapat berperan sebagai adsorben padat karena memiliki pori-pori yang dapat dibentuk sesuai kebutuhan. Permukaan arang aktif dapat bertambah luas walaupun pori-pori yang dimiliki sangat kecil karena arang aktif merupakan unsur karbon bebas yang satu sama lainnya berkaitan secara kovalen sehingga dapat kemampuan adsorpsi bertambah baik (Suprianova, 2016).

2. Mekanisme Adsorpsi

Berikut adalah mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi menurut Rachmat (2011) :

- a. Terjadi perpindahan molekul adsorben dari fase bagian terbesar ke lapisan film yang melapisi permukaan adsorben yang terletak di permukaan antara adsorben.
- b. Molekul-molekul adsorben berpindah dari permukaan antara adsorben ke permukaan luar adsorben.
- c. Molekul-molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben.

- d. Molekul-molekul adsorbat melekat pada permukaan pori-pori adsorben.



Gambar 2.2 Mekanisme Adsorpsi

Sumber : Addy Rachmat 2011

Berikut proses adsorpsi menurut Rachmat (2011) :

- a. Tahap Adsorpsi

Adsorbat terserap dan tertahan pada permukaan adsorben.

- b. Tahap Desorpsi

Terjadi peristiwa lepasnya molekul pada permukaan zat padat (pelepasan adsorbat dari adsorben). Desorpsi terjadi jika:

1. Memanaskan adsorben sehingga suhunya meningkat di atas suhu didih.
2. Menambahkan bahan-bahan kimia.

- c. Tahap *Recovery*

Tahap pengolahan gas dan molekul yang telah berhasil didesorpsi, tahap ini dapat dilakukan dengan cara:

1. Kondensasi
2. Dibakar
3. Solidifikasi

2.2.10 Pengertian Air Limbah (*Waste Water*)

Air limbah (*waste water*) merupakan kombinasi beberapa limbah. Limbah rumah tangga, limbah perusahaan, limbah dari institusi komersial seperti rumah sakit, limbah industri, air hujan, dan limpasan limbah perkotaan, serta limbah pertanian yang larut maupun sebagai bahan yang tersuspensi juga termasuk sebagai air limbah (anonim, 2015). Dalam Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 2012 tentang Pengolahan Lingkungan Hidup, ada 4 golongan klasifikasi dan kriteria mutu air:

1. Golongan I, adalah golongan air yang bisa digunakan secara langsung tanpa perlu adanya *treatment* terlebih dahulu.
2. Golongan II, adalah golongan air yang dapat digunakan setelah dilakukan *treatment* terlebih dahulu.
3. Golongan III, adalah air yang dapat digunakan untuk peternakan dan perikanan.
4. Golongan IV, adalah air yang dapat digunakan untuk kebutuhan pertanian, perusahaan pembangkit listrik tenaga air, usaha perkotaan, dan industri.

2.2.11 Karakteristik Limbah Cair

Menurut Metcalf dan Eddy (2008), karakteristik limbah cair ada tiga:

1. Karakteristik Fisika

Karakteristik fisika antara lain:

- a. *Total Suspended Solid* (TSS)

TSS adalah sisa setelah proses penguapan pada suhu 100°C-110°C. TSS dapat ditemukan pada sumber domestik, industri, guguran tanah, dan infiltrasi yang dapat membuat lumpur pada area pengolahan limbah sehingga menghambat proses pengolahan karena kondisi anaerob yang tercipta.

b. Suhu

Suhu mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Suhu normal air adalah 8°C pada suhu ruangan 27°C. Semakin tinggi suhu air, maka kandungan COD dalam air semakin berkurang.

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia antara lain:

a. Bahan organik

Bahan organik tersusun dari C, H, O, N yang terdapat pada tumbuhan, hewan, dan aktivitas manusia. Zat-zat kimia yang terdapat pada bahan organik yaitu karbohidrat, lipid, minyak, pestisida, fenol, surfaktan, dan protein yang semua itu berasal dari limbah-limbah domestik dan industri, kecuali pestisida yang berasal dari aktivitas pertanian

b. Bahan anorganik

Pada umumnya bahan anorganik adalah bahan yang mengandung logam-logam berat seperti Pb, Cu, Mg, Fe. Asam kuat, basa kuat, senyawa belerang (sulfat dan hydrogen sulfide), senyawa nitrogen (nitrit, nitrat, amoniak), dan senyawa fosfat juga terdapat pada bahan anorganik.

c. Gas

Gas juga dapat ditemui pada limbah cair. Gas yang dapat ditemui pada limbah cair adalah karbondioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), amoniak (NH₃), oksigen (O₂), metana (CH₄), dan nitrogen (N₂).

3. Karakteristik Biologi

Timbulnya penyakit pathogen dapat dikontrol dengan mengetahui karakteristik biologi pada air limbah. Beberapa karakteristik biologi tersebut di antaranya mikroorganisme yang terdapat dalam dekomposisi dan stabilitas senyawa organik, dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) yang berarti kebutuhan

oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan zat organik. Selain itu, *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang berarti metode pengukuran kebutuhan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganik, dan organik sebagaimana pada BOD juga merupakan salah satu karakteristik biologi.

2.2.12 Penggolongan Pengolahan Limbah Cair

Sebelum dibuang ke tempat pembuangan, air limbah harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan limbah yang baik akan berdampak baik bagi lingkungan dan orang yang beraktivitas di sekitarnya. Tujuan pengolahan limbah menurut Kencanawati (2016) :

1. Mengurangi pencemaran tanah
2. Mencegah berkembangnya bibit penyakit
3. Melindungi organisme yang hidup dalam air
4. Menjaga kualitas air tanah agar aman dikonsumsi

Berikut adalah pengolahan limbah dengan dua cara :

1. Pengolahan secara alami

Dalam pengolahan ini dibutuhkan adanya kolam stabilisasi. Pada umumnya, kolam stabilisasi menggunakan jenis kolam anaerobik, kolam maturasi (pemusnahan mikroorganisme patogen), dan kolam fakultatif (pengolahan air limbah yang tercemar bahan organik pekat). Cara ini merupakan cara yang paling murah di antara cara pengolahan yang lain sehingga cocok digunakan negara berkembang dan tropis.

2. Pengolahan secara buatan

Pengolahan secara buatan dilakukan dengan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Berikut adalah tiga tahapan pengolahannya :

- a. Pengolahan pertama (*Primary Treatment*)

Tahapan pengolahan ini bertujuan untuk memisahkan zat padat dan cair dengan bantuan filter dan bak endapan. Bahan yang digunakan sebagai media filter di antaranya ialah vacuum fiber, batu keriril, dan pasir.

b. Pengolahan kedua (*Secondary Treatment*)

Tahapan pengolahan ini merupakan proses koagulasi. Proses koagulasi adalah proses yang berfungsi untuk menghilangkan koloid dan menstabilisasi zat organik limbah. Dalam pengurangan bahan organik biasanya dilakukan dengan proses aerob (menggunakan oksigen) dan anaerob (tidak menggunakan oksigen). Oksigen dalam proses aerob berfungsi sebagai *electron acceptor* dalam air. Lumpur aktif juga ditambahkan agar hasil akhir proses aerob dapat sempurna karena mengandung bakteri pengurai sehingga dapat menghasilkan uap air, *excess sludge*, dan CO₂.

c. Pengolahan lanjutan (*Tertiary Treatment*)

Tahapan pengolahan ini ditambahkan klorin untuk memusnahkan mikroorganisme patogen. Tahapan ini juga bertujuan untuk menghilangkan nitrat dan posfat.

Pelaku industri harus memiliki prinsip sadar lingkungan agar air limbah dapat memenuhi syarat baku mutu air limbah. Menurut Kencanawati (2016), hal itu dapat dilakukan dengan melakukan pengendalian cepat dan cermat, terpadu baik dalam proses produksi maupun setelah proses produksi sehingga volume polutan pencemar, konsentrasi, dan toksisitas berkurang. Tabel berikut menunjukkan standar baku mutu air limbah rumah sakit yang diatur oleh Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016 tentang air limbah untuk kegiaran Rumah Sakit Umum (RSU) kelas B dan C.

Tabel 2.3 Standar Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit

Parameter	Konsentrasi
Fenol	0,5 (mg/L)
MBAS (<i>Methylene Blue Active Surfactant</i>)/ <i>Senyawa Biru Metilen</i>	5 (mg/L)
Amonia Bebas (NH ₃ -N)	1 (mg/L)
TSS	30 (mg/L)
COD	80 (mg/L)
BOD	61,8 (mg/L)
Ph	6-9
TDS	2000 (mg/L)
Suhu	38 (°C)

Sumber : Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016

2.2.13 Pemilihan Teknologi Pengolahan Limbah Cair

Pemilihan Teknologi untuk proses pengolahan limbah bertujuan agar teknologi yang digunakan tepat pada sasaran. Untuk itu diperlukan adanya pengelompokan karakteristik polutan air limbah dengan indikator parameter yang ditunjukkan pada tabel 2.4. Setelah kontaminan dikelompokkan, diadakan perhitungan teknis dan ekonomi. Dengan demikian, pemilihan teknologi akan tepat pada sasaran. Percobaan skala laboratorium perlu dilakukan setelah kajian detail dilakukan yang bertujuan :

1. Sebagai tolok ukur untuk pembuatan skala sebenarnya.
2. Mengumpulkan data yang diperlukan agar efisiensi dalam pengolahan limbah dapat tercapai.
3. Memastikan teknologi yang digunakan tepat pada limbah yang akan diolah.

Tabel 2.4 Jenis Peralatan dan Proses Pengolahan Limbah Cair

No.	Jenis Kegiatan	Peralatan	Tujuan Pengolahan
1.	Penyaringan	Barscreen	Menyaring bahan padat
2.	Menangkap pasir	Grit chamber	Menghilangkan pasir dan kerikil
3.	Menangkap lemak dan buih	Skimmer dan greastrap	Memisahkan bahan terapung
4.	Perataan air	Tangki ekalisasi	Meratakan konsentrasi
5.	Netralisasi	Bahan kimia	Menetralkan air
6.	Pengendapan	Tangki pengendap	Mengendapkan lumpur dengan bahan kimia
7.	Lumpur aktif	bak	Menghilangkan larutan organik biologis
8.	Pengapungan	Tangki pengapung	Menghilangkan senyawa terlarut dengan bantuan udara
9.	Tricking filter	saringan	Menghilangkan larutan organik biologis
10.	Karbon aktif	Saringan dengan karbon aktif	Menghilangkan senyawa organik yang tidak dapat terurai
11.	Acrasi	Tangki dan kompresor	Menghilangkan larutan organik
12.	Pengendapan kimia	Tangki pengendap dan bahan kimia	Mengendapkan bahan kimia
13.	Nitrifikasi	Menara	Menghilangkan nitrat dan nitrit
14.	Klorinasi	Bahan kimia	Memusnahkan bakteri patogen

Sumber : Edy & Matcalf, 1983 dalam Kencanawati, 2016

2.2.14 Teknologi Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit

Semua aktivitas rumah sakit hingga kegiatan penunjang lainnya menghasilkan limbah rumah sakit. Limbah rumah sakit dibedakan menjadi 2, yaitu limbah klinis dan non klinis. Limbah tersebut dapat berupa padatan maupun cair. Selain itu, limbah dari kegiatan penunjang disebut dengan limbah non medis, seperti botol minuman, kaleng, dan limbah yang berasal dari unit pelayanan gizi. Pada umumnya limbah mengandung berbagai jenis bakteri patogen, dan berbagai bahan-bahan organik dan anorganik yang tingkat kandungannya dapat diketahui dengan pengujian air limbah seperti COD, pH, BOD, TSS, Fenol, dan sebagainya (Khusnuryani, 2008).

Bakteri, virus, senyawa kimi, dan obat-obatan yang terkandung pada limbah cair dari hasil aktivitas rumah sakit dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, rumah sakit memerlukan IPAL agar sanitasi dan mutu lingkungan rumah sakit meningkat. Teknologi yang biasa digunakan ialah proses lumpur aktif, biofilter anaerob-aerobm RBC (*Rotating Biological Contactor*), dan proses aerasi kontak (Said dkk, 2016).

1. Proses Lumpur Aktif

Jenis pengolahan ini menggunakan bak pengendap awal, bak aerasi, dan bak pengendap akhir, serta bak klorinasi untuk tempat pembunuhan bakteri patogen. Bak penampung limbah cair dilengkapi dengan pengatur debit aliran dan screen untuk memisahkan kotoran yang berukuran besar. Air dari bak penampung dipindahkan ke bak pengendap dengan bantuan pompa. Pada bak pengendap awal, kadar TSS dan BOD diturunkan, sedangkan air limpasan dialirkan menuju bak aerasi. Bakteri pengurai polutan organik yang berada di bak aerasi dikembangkan dengan hembusan udara.

Setelah itu, air pada bak aerasi dialirkan menuju lumpur aktif yang berada di dalam bak pengendap akhir. Air yang tidak

lolos, dialirkan kembali menuju bak aerasi, sedangkan air yang lolos dialirkan ke bak klorinasi untuk membunuh bakteri patogen. Diagram proses pengolahan air limbah rumah sakit dengan lumpur aktif ditunjukkan pada Gambar 2.2.



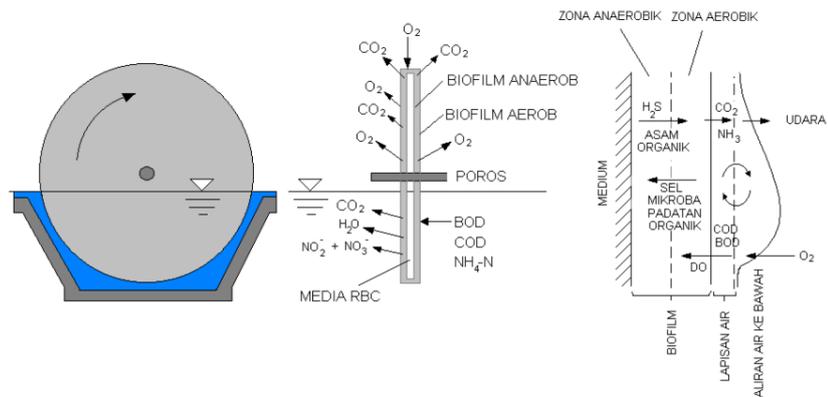
Gambar 2.3 Diagram Proses Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit dengan Lumpur Aktif

Sumber : Said dkk, 2016

2. *Rotating Biological Contactor (RBC)*

RBC digunakan untuk pengolahan limbah yang mengandung polutan organik tinggi. Pada dasarnya RBC bekerja dengan mengontakkan air limbah yang mengandung polutan organik dengan lapisan *microbial film* pada reaktor sehingga TSS akan tertahan pada permukaan lapisan biologis (biofilm). TSS akan terurai dan larut dalam air, sedangkan senyawa yang berhasil diproses akan keluar dalam bentuk air dan gas.

Pembiayaan alat cenderung murah karena prosesnya yang sederhana serta lumpur yang dihasilkan tidak terlalu banyak dibandingkan pengolahan lumpur aktif. Hal itu menjadikan keunggulan RBC dibandingkan pengolahan lumpur aktif. Namun, sensitifnya terhadap suhu menjadikan kelemahan pada RBC. Mekanisme proses RBC ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme Proses Penguraian Limbah dengan Rotating Biological Contactor (RBC)

Sumber : Said dkk, 2016

3. Proses Aerasi Kontak

Pengolahan aerasi kontak dibagi menjadi dua :

a. Pengolahan Primer

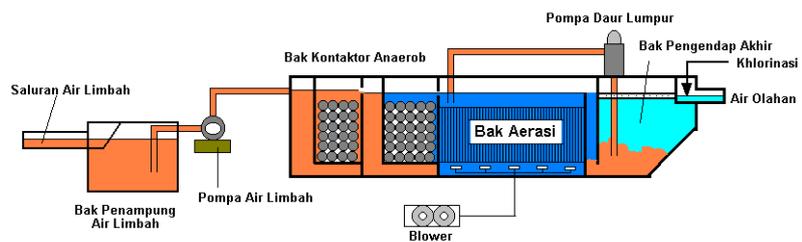
Pengolahan primer menggunakan bar screen yang berfungsi untuk memisahkan kotoran yang besar. Air yang telah melewati bar screen dialirkan ke bak pengendap awal.

b. Pengolahan Sekunder

Pengolahan sekunder terdiri dari 2 bak utama yaitu bak kontaktor anaerob dan bak aerasi. Air dari bak pengendap awal dialirkan ke bak penampung. Pompa mengalirkan air dari bak penampung menuju bak kontaktor anaerob. Pada bak kontaktor anaerob terdapat kerikil yang berfungsi sebagai filter. Air dari bak kontaktor anaerob dialirkan menuju bak aerasi yang berisi batu apung dan dihembus udara agar mikroba dapat mengurai zat organik air limbah. Jadi, akan terjadi kontak antara mikroba yang tersuspensi dalam air dengan air limbah.

Air dari bak aerasi dialirkan ke bak pengendap akhir yang berisi lumpur aktif. Dari bak pengendap akhir air dipompa kembali ke bak aerasi dengan pompa sirkulasi

lumpur. Lalu air limpasan mengalir menuju bak klorinasi. Klorin ditambahkan untuk membunuh bakteri pathogen. Setelah itu, air dapat dialirkan ke sungai. Diagram proses pengolahan dengan proses aerasi kontak ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Proses Pengolahan menggunakan Proses Aerasi Kontak

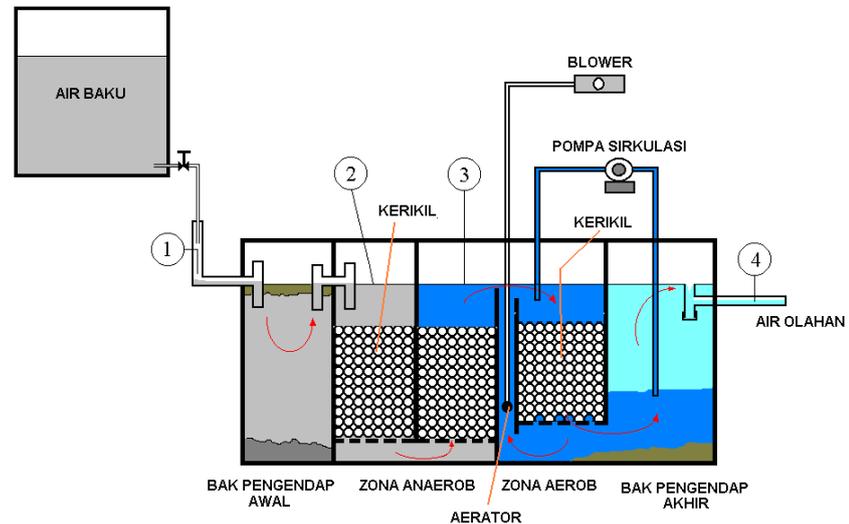
Sumber : Said dkk, 2016

4. Proses Biofilter Anaerob-aerob

Pengolahan biofilter anaerob-aerob terdiri dari bak pengendap, biofilter anaerob, biofilter aerob, dan bak pengendap akhir. Air dialirkan melalui bar screen menuju bak pengendap awal. Air limpasan dari bak pengendap awal dialirkan menuju bak kontaktor anaerob yang di dalamnya terdapat filter berupa kerikil. Lapisan film mikroorganisme yang tumbuh oleh bakteri anaerobic setelah beberapa hari operasi pada permukaan media filter akan menguraikan zat organik yang belum terurai pada bak pengendap.

Air limpasan dari bak kontaktor anaerob dialirkan masuk ke bak kontaktor aerob dengan filter kerikil, plastik, batu apung sembari ditiupkan udara. Udara yang ditiupkan bertujuan agar mikroorganisme menguraikan zat organik yang terdapat pada limbah sehingga air limbah mengalami kontak dengan mikroorganisme yang tersuspensi pada permukaan media maupun dalam air. Lalu air dialirkan menuju lumpur aktif yang berada di dalam bak aerasi. Air yang sudah melalui lumpur aktif dapat

dibuang ke sungai. Diagram proses pengolahan biofilter anaerob-aerob ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Proses Biofilter Anaerob-aerob

Sumber : Said dkk, 2016

2.2.15 Dampak Limbah B3 bagi Manusia dan Lingkungan

Limbah B3 adalah zat sisa dari aktivitas yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun. Limbah B3 berbahaya karena Limbah yang dihasilkan dianggap sangat berbahaya karena dianggap toksik, korosif, memiliki bau, bersifat radioaktif, dan karsinogenik (PP.No.18 Tahun 1999 Tentang Limbah B3). Limbah B3 dapat ditemui pada kegiatan rumah sakit, karena rumah sakit sangat kompleks dalam hal produksi limbah, baik itu limbah sisa aktivitas klinis, dapur, laboratorium, dan bangsal. Dibawah ini akan diuraikan implikasi klinis dari parameter polutan yang ada dalam limbah cair rumah sakit antara lain fenol, *Methylene Blue Active Substance* (MBAS), TSS, COD, BOD, dan parameter tambahan logam berat cadmium (Cd), Krom (Cr), dan Timbal (Pb).

1. Fenol

Fenol adalah zat yang tak berwarna dan memiliki bau khas. Kadar maksimum fenol yang ditentukan oleh PerDa DIY No. 7 Tahun 2016 yaitu sebesar 0,5 mg/L. Jika kadar fenol yang

beredar di lingkungan melebihi batas maksimum bisa menyebabkan pengaruh serius terhadap makhluk hidup. Aufo (2017) melaporkan efek jangka panjang jika manusia terpapar fenol yaitu dapat terkena kanker pernapasan, penyakit jantung, dan menurunnya sistem kekebalan tubuh.

2. *Methylene Blue Active Substance* (MBAS)

MBAS adalah zat warna yang beredar di dalam air limbah. Zat ini membuat air limbah menjadi berwarna keruh. Pada umumnya, MBAS yang terdapat pada air limbah rumah sakit memiliki konsentrasi yang sangat kecil yaitu $<0,05$ mg/L. Jika konsentrasi MBAS pada lingkungan terlalu tinggi, maka akan menghambat proses fotosintesis tanaman air dan biota air akan kekurangan cahaya sehingga berdampak pada pengurangan jumlah oksigen dalam air.

3. Amonia Bebas ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Ammonia bebas bisa disebut juga nitrogen ammonia, yang dihasilkan dari proses pembusukan secara bacterial zat-zat organik. Kadar toksisitas ammonia sebenarnya tidak terlalu tinggi, namun jika zat ini tidak dikendalikan akan menimbulkan bau yang tidak sedap.

4. *Total Solid Suspended* (TSS)

TSS adalah zat yang melayang di dalam air limbah. Zat ini tidak bersifat toksik namun jika beredar berlebihan di lingkungan akan mengganggu proses fotosintesis di dalam air karena penetrasi cahaya yang masuk terhambat (Ramadhani, 2017).

5. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD adalah parameter yang biasa digunakan untuk menentukan kadar oksigen terlarut di dalam air. Jika konsentrasi COD di dalam air tinggi, menunjukkan bahan pencemar di dalam air tinggi. Hasan (2016) melaporkan dampak yang diakibatkan karena konsentrasi COD tinggi yaitu menyebabkan oksigen

terlarut menjadi rendah, sehingga menyebabkan biota dan tanaman air akan mati karena kekurangan oksigen.

6. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat buangan air limbah, sehingga ketika dilakukan pemeriksaan akan diketahui tindakan pengendalian kadar BOD. Jika kadar BOD terlalu banyak bakteri anaerob akan menghabiskan oksigen terlarut dalam air, sehingga selama proses oksidasi yang dilakukan oleh bakteri biota dan tumbuhan air akan mati karena kekurangan oksigen.

7. *Total Dissolved Solid (TDS)*

TDS mempengaruhi sifat transparan air. Jika konsentrasi TDS tinggi maka akan mengurangi kejernihan air, sehingga akan menghambat distribusi cahaya ke dalam air. Selain itu, air yang memiliki kadar TDS tinggi akan memiliki rasa yang buruk atau kesadahan air yang tinggi.

8. Implikasi Klinis akibat Pencemaran Timbal (Pb)

Manusia yang terpapar logam berat timbal dapat mengganggu kinerja syarafnya. Efeknya akan lebih berbahaya jika anak-anak terpapar. Anak-anak dapat terkena gangguan pada syaraf tepi manusia yang menghubungkan otak dengan tulang belakang (*neuropathy perifer*) sehingga terjadi gangguan dalam pengiriman sinyal. Selain itu, manusia yang terpapar akan mengalami *fibrosis*, *sclerosis glomerulus*, *sel tubulus atrofi*, *nephropati irreversible*, dan *tubulus renal*. Manusia dapat terkena *nefritis* kronis jika terpapar timbal lebih lanjut.

Manusia yang terpapar logam berat timbal juga dapat mengganggu sistem reproduksinya, seperti cacat kromosom dan keguguran. Pada kasus cacat, timbal yang terdapat pada tubuh anak di dalam kandungan dapat bereaksi dengan cepat.

9. Implikasi Klinis akibat Pencemaran Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam berat dengan sifat toksisitas yang tinggi. Dalam bentuk oksida kadmium memiliki sifat toksisitas yang lebih tinggi. Manusia yang keracunan kadmium akan mengalami rasa sakit di dada, sesak napas, batuk-batuk, hingga tubuh terasa lemas. Secara alami tubuh akan merespon keberadaan kadmium dengan melarutkan kadmium dalam urin. Namun, jika kandungan kadmium mencapai 8 mg/m^3 selama 240 menit, manusia dapat mengalami kematian. Hal itu disebabkan karena kadmium menyerang pembuluh darah dan sistem pernapasan.

10. Implikasi Klinis akibat Pencemaran Kromium (Cr)

Kromium yang berada dalam tubuh manusia dapat menyerang pernapasan, kulit, ginjal dan pembuluh darah. Kromium yang menyerang sistem pernapasan dapat menyebabkan kanker paru-paru dan ulkus kronis pada septum nasal. Jika terjadi luka pada kulit, kulit akan bernanah dan sulit mengering karena kerusakan jaringan kulit yang disebabkan kromium. Kromium yang terakumulasi pada ginjal akan menyebabkan *nekrosis tubulus* ginjal. Pada pembuluh darah, kromium dapat menyebabkan penebalan dinding oleh plak dalam pembuluh darah.

