

METODA PENGHILANGAN LOGAM BERAT (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) DI DALAM AIR LIMBAH INDUSTRI

Nusa Idaman Said

Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT.
Jln. MH. Thamrin No.8 Jakarta Pusat

Abstract

Industry is a potential source of water pollution, it produces pollutants that are extremely harmful to people and the environment. Many industrial facilities use freshwater to carry away waste from the plant and into rivers, lakes and oceans. Inorganic industrial wastes are more difficult to control and potentially more hazardous. Industries discharge a variety of toxic compounds and heavy metals. The most pollutants heavy metals are Lead, Cadmium, Copper, Chromium, Selenium, Mercury, Nickel, Zinc, Arsen and Chromium. Heavy metals are dangerous because they tend to bioaccumulate. Mercury for example, causes damages to the brain and the central nervous system, causes psychological changes and makes development changes in young children. Normally Mercury is a toxic substance which has no known function in human biochemistry.

There are several methods to eliminate or remove heavy metals in water such as chemical oxidation process, ion exchange process, adsorption process, an electrochemical process, reverse osmosis process and other alternative methods like biosorption. Each method has strengths and weaknesses, therefore to choose the method of removing heavy metals in wastewater depending on pollutants conditions such as concentrations of heavy metals in wastewater, types of heavy metal, heavy metal concentrations in treated water, land availability, flow rate of wastewater will be processed and other parameters. In this paper discusses several methods of removal of heavy metals in industrial wastewater such as chemical precipitation and oxidation processes, adsorption and ion exchange process.

Keywords : *water pollution, heavy metal, industrial wastewater, removal methods*

1. PENDAHULUAN

Air limbah Industri merupakan sumber pencemaran air yang sangat potensial. Pada konsentrasi yang tinggi, limbah tersebut menyebabkan kontaminasi bakteriologis serta beban nutrien yang berlebihan (*euthrophication*). Limbah industri anorganik lebih sulit untuk dikontrol dan mempunyai potensi bahaya yang lebih besar. Industri kimia berbahaya mengeluarkan limbah berbahaya yang mengandung senyawa yang bersifat racun (*toxic material*) serta logam berat yang bersifat toksik.

Air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Industri tersebut selain menghasilkan produk yang bermanfaat, juga menghasilkan produk samping berupa limbah yang berbahaya dan beracun. Limbah beracun yang dihasilkan industri antara lain dapat berupa logam berat. Menurut beberapa literatur terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun

dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain⁽⁵⁾. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan.

Beberapa jenis industri yang banyak mengandung logam berat adalah industri yang berhubungan dengan pekerjaan permesinan, metalurgi, pelapisan logam, cat, kulit, serta industri pertambangan. Beberapa logam berat serta senyawa beracun yang banyak dijumpai di dalam air limbah industri adalah khrom (Cr), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Cadmium (Cd), Perak (Ag), Timbal (Pb) dan Senyawa Cianida. Air limbah

yang mengandung logam berat termasuk golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Air limbah yang mengandung logam berat telah menjadi isu lingkungan yang telah menyita perhatian banyak pihak mengingat dampak yang ditimbulkannya dapat berakibat buruk bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia. Makalah ini membahas tentang metoda penghilangan logam berat Arsen (As), Kadmium (Cd), Khrom valensi 6 (Cr^{6+}), Perak (Ag), Tembaga (Cu), Timbal (Pb) Nikel (Ni) dan Seng (Zn) yang ada di dalam air limbah industri.

2. DAMPAK LOGAM BERAT TERHADAP KESEHATAN

2.1. Air Raksa (Hg)

Air raksa atau merkuri atau hydrargyrum (Hg) adalah logam yang menguap pada temperatur kamar. Karena sifat kimia-fisiknya, merkuri pernah digunakan sebagai campuran obat. Saat ini merkuri banyak digunakan dalam industri pembuatan amalgam, perhiasan, instrumentasi, fungisida, bakterisida, dan lain-lainnya. Air raksa merupakan racun sistemik dan dapat terakumulasi di dalam hati (*lever*), ginjal, limpa, atau tulang. Hg dapat dikeluarkan oleh tubuh manusia diekskresikan lewat *urine*, *feces*, keringat, saliva, dan air susu. Keracunan Hg akan menimbulkan gejala gangguan susunan saraf pusat (SSP) seperti kelainan kepribadian dan *tremor*, *convulsi*, pikun, insomania, kehilangan kepercayaan diri, iritasi, depresi, dan rasa ketakutan. Gejala *gastro-intestinal* (GI) seperti stomatis, hipersalivasi, colitis, sakit saat mengunyah, gingivitis, garis hitam pada gusi (*leadline*), dan gigi yang mudah lepas. Kulit dapat menderita dermatitis, dan ulcer. Hg yang organik cenderung merusak susunan saraf pusat (tremor, ataxia, lapangan penglihatan meciut, perubahan kepribadian), sedangkan Hg anorganik biasanya merusak ginjal, dan menyebabkan cacat bawaan. Di alam, Hg anorganik dapat berubah menjadi organik dan sebaliknya karena adanya karena adanya interaksi dengan mikroba. *Genus Pseudomonas* dan *Neurospora* dapat mengubah Hg anorganik menjadi organik. *Staphylococcus aureus* antara lain dapat mereduksi Hg^{2+} menjadi Hg elemental ⁽⁸⁾.

2.2. Arsen

Arsen (As) adalah metal yang mudah patah, berwarna keperakan dan sangat toksik. As elemental didapat di alam dalam jumlah sangat terbatas; terdapat bersama-sama Cu, sehingga didapatkan produk sampingan pabrik peleburan Cu. As sudah sejak lama sering digunakan untuk racun tikus; dan keracunan arsen pada manusia

sudah sangat dikenal, baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Keracunan akut menimbulkan gejala muntaber disertai darah, disusul dengan koma, dan apabila dibiarkan dapat menyebabkan kematian. Secara khronis keracunan arsen dapat menimbulkan anorexia, kolk, mual, diare atau konstipasi, iceterus, pendarahan pada ginjal, dan kanker kulit. As dapat menimbulkan iritasi, alergi, dan cacat bawaan. Di masa lampau, As dalam dosis kecil digunakan sebagai campuran tonikum, tetapi kemudian ternyata bahwa As ini dapat menimbulkan kanker kulit pada peminumnya ⁽⁸⁾.

2.3. Kadmium

Kadmium (Cd) adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Cd didapat pada industri *alloy*, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain. Tubuh manusia tidak memerlukan Cd dalam fungsi dan pertumbuhannya, karena Cd sangat beracun bagi manusia. Keracunan akut akan menyebabkan gejala gastero-intestinal, dan penyakit ginjal. Gejala klinis keracunan Cd sangat mirip dengan penyakit *glomerulonephritis* biasa. Hanya pada fase lanjut dari keracunan Cd ditemukan pelunakan dan fraktur (patah) tulang punggung yang multipel. Di Jepang sakit pinggang ini dikenal sebagai penyakit "*Itai-Itai disease*" ⁽⁷⁾. Gejalanya adalah sakit pinggang, patah tulang, tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, gejala seperti influenza, dan sterilitas pada laki-laki.

2.4. Khromium val. 6

Khromium (Cr) adalah metal kelabu yang keras. Cr didapatkan pada industri gelas, metal, fotografi, dan elektroplating. Khromium sendiri sebetulnya tidak toksik, tetapi senyawanya sangat iritan dan korosif, menimbulkan ulcus yang dalam pada kulit dan selaput lendir. Inhalasi Cr dapat menimbulkan kerusakan pada tulang hidung. Di dalam paru-paru, Cr ini dapat menimbulkan kanker ⁽⁸⁾.

2.5. Perak (Ag)

Perak atau Argentum (Ag) adalah metal berwarna putih. Ag didapat pada industri antara lain industri alloy, keramik, gelas, fotografi, cermin, dan cat rambut. Bila masuk kedalam tubuh, Ag akan diakumulasi di berbagai organ dan menimbulkan pigmentasi kelabu, disebut Argyria. Pigmentasi ini bersifat permanen, karena tubuh tidak dapat mengekskresikannya. Sebagai debu, senyawa Ag dapat menimbulkan iritasi kulit, dan

menghitamkan kulit (*argyria*). Bila terikat nitrat, Ag akan menjadi sangat korosif. Argyria sistemik dapat juga terjadi, karena perak diakumulasi di dalam selaput lendir dan kulit ⁽⁸⁾.

2.6. Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) sebetulnya diperlukan untuk perkembangan tubuh manusia. Tetapi, dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala GI, SSP, ginjal, hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kramp, konvulsi, shock, koma, dan dapat meninggal. Dalam dosis rendah menimbulkan rasa kesat, warna, dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur ⁽⁸⁾.

2.7. Timbal (Pb)

Timbal atau plumbum (Pb) adalah metal kehitaman. Dahulu digunakan sebagai kontituen di dalam cat, materai dan saat ini banyak di gunakan dalam bensin. Pb organik (TEL singkatan dari *tetra ethyl lead*) sengaja ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan oktan. Pb pada racun adalah sistemik. Keracunan Pb akan menimbulkan gejala: rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi, gangguan GI, anorexia, muntah-muntah, klik, *encephalitis*, *wrist drop*, *irritable*, perubahan kepribadian, kelumpuhan, dan kebutaan. *Basophilic stippling* dari sel darah merah merupakan gejala patognomonis bagi keracunan Pb. Gejala lain dari keracunan ini berupa anemia dan *albuminuria*. Pb organik cenderung menyebabkan *encephalopathy*. Pada keracunan akut, akan terjadi *meninges da ceberal*, diikuti dengan stupor, coma, dan kematian. Tekanan *liquor cerebro-spinalis* (LCS) tinggi, insomnia, dan *somnolence*.

2.8. Selenium

Selenium adalah logam berat yang berbau bawang putih; didapat bersama-sama dengan Cu, Au, Ni, dan Ag. Selenium juga dapat antara lain pada industri gelas, kimia, plastik, dan seikonduktor. Dalam dosis besar Se akan menyebabkan gejala GI seperti muntah dan diare. Bila pemaparan berlanjut, maka akan terjadi gejala gangguan susunan saraf seperti hilangnya reflex-reflex, iritasi cerebral, konvulsi, dan dapat juga kematian. Se merupakan racun sistemik, dan mungkin juga bersifat karsinogenik ⁽⁸⁾.

2.9. Seng (Zn)

Seng (Zn) adalah metal yang didapat antara lain pada industri *alloy*, keramik, kosmetik, pigmen, dan karet. Toksisitas Zn pada

hakekatnya rendah. Tubuh memerlukan Zn untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Didalam air akan menimbulkan rasa kesat, dan dapat menimbulkan gejala muntaber. Seng menyebabkan warna air menjadi *opalescent*, dan bila dimasak akan menimbulkan endapan seperti pasir ⁽⁸⁾.

3. METODA PENGHILANGAN SENYAWA LOGAM BERAT DI DALAM AIR LIMBAH

3.1. Penghilangan Senyawa Arsen

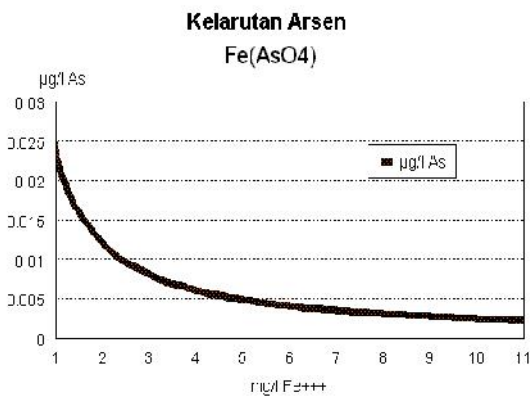
Arsen (As) banyak ditemukan di dalam air limbah industri elektronik yang membuat *gallium arsenide wafers* dan peralatan elektronik. Ditemukan juga di dalam air limbah industri pembuatan semikonduktor silikon dimana terdapat proses penanaman arsen dosis tinggi. Arsen dapat juga disebabkan penggunaan insektisida yang mengandung senyawa arsen. Standar WHO dan US-EPA untuk konsentrasi Arsen maksimum yang diperbolehkan di dalam air minum adalah 10 µg/l (ppb).

Arsen tidak dapat diolah sampai tingkat konsentrasi yang diperbolehkan dengan proses pengaturan pH dan pengendapan. Penghilangan arsen di dalam air limbah yang sering dilakukan adalah dengan proses pengendapan ferri arsenat (*ferric arsenate*), $Fe(AsO_4)$. Di dalam proses ini senyawa arsen dioksidasi dengan penambahan ion ferri dan sodium atau natrium hipoklorit pada pH 2,5 – 3,5.

Selanjutnya pH dinaikkan menjadi 7 – 8, dan ferri arsenat akan mengendap dengan penambahan eksemplar ion ferri (Fe^{3+}). Metoda ini telah didemonstrasikan dan dapat menurunkan kandungan Arsen kurang dari 0,1 µg/l. Yang perlu diperhatikan adalah mempertahankan pH antara 7-8, jika tidak konsentrasi Arsen di dalam air olahan akan meningkat. Pengaruh penambahan ion ferri terhadap kelarutan Ferri arsenat, $Fe(AsO_4)$ dapat seperti pada Gambar 1.

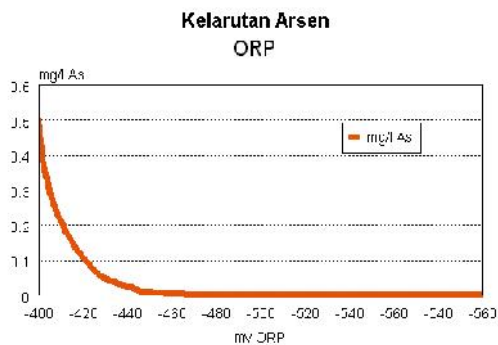
Metoda lain untuk menghilangkan Arsen adalah pengendapan Arsen dalam bentuk senyawa sulfida. Proses ini perlu diperhatikan yang seksama karena di dalam proses ini sulfida dapat mereduksi Arsen menjadi AsH_3 dalam bentuk gas arsine yang sangat beracun dan mematikan. Jika proses ini dilakukan maka memerlukan proses pengendapan ke dua dengan penambahan ion ferro (Fe^{2+}) untuk menghilangkan residual sulfida dan membantu proses flokulasi dan pengendapan. Arsen dengan tingkat konsentrasi yang rendah dapat direduksi menjadi logam Arsen menggunakan senyawa reduktor dengan mengatur harga ORP tertentu (-460 mV), tetapi hal yang perlu diperhatikan adalah terbentuknya gas arsine

yang sangat berbahaya. Hubungan kelarutan Arsen dengan harga ORP larutan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Hubungan Konsentrasi Ion Ferri (Fe^{3+}) Terhadap Kelarutan Ferri Arsenat, $Fe(AsO_4)$ di dalam air

Arsenat juga dapat diturunkan sampai kurang dari 10 $\mu g/l$ dengan adsorpsi dengan alumina aktif (*activated alumina*) atau dengan proses pertukaran ion menggunakan resin kation khusus. Urutan tingkat selektivitas penukaran ion logam berat untuk beberapa jenis resin penukar ion dapat dilihat pada Tabel 1⁽⁴⁾.



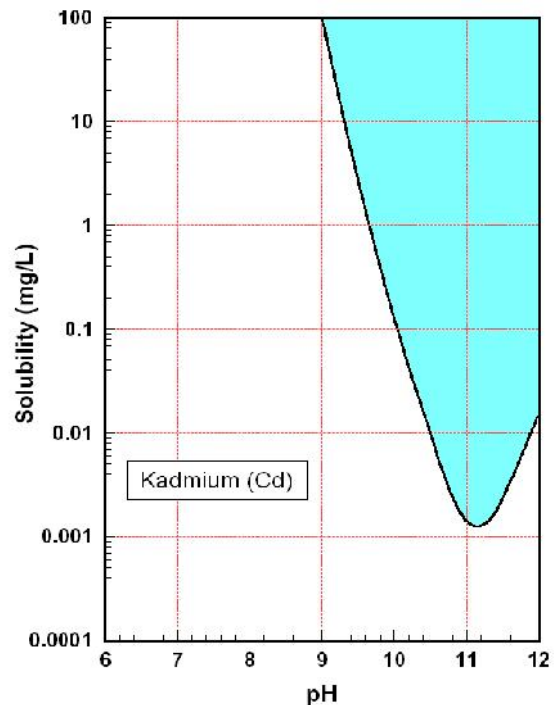
Gambar 2. Hubungan Harga ORP Larutan Terhadap Kelarutan Ferri Arsenat, $Fe(AsO_4)$ di Dalam Air

3.2. Penghilangan Senyawa Cadmium

Kadmium (Cd) dapat ditemukan di dalam air limbah pelapisan logam, industri keramik, produk fotografi, industri pigment, industri kimia sintesis, dan dapat ditemukan di dalam air limbah pencucian proses pensolderan. Kadmium di dalam efluen air limbah umumnya dibatasi sampai konsentrasi kurang dari 0,1 mg/l. Untuk menurunkan konsentrasi Kadmium di dalam air limbah sampai konsentrasi yang diperbolehkan (< 0,1 mg/l) tidak dapat dilakukan hanya dengan proses pengendapan dengan pengaturan pH saja. Pengendapan logam Kadmium dapat dilakukan dengan penambahan senyawa karbonat, fosfat, sulfida atau hidroksida sehingga membentuk endapan

kadmium karbonat, kadmium fosfat, kadmium sulfida atau kadmium hidroksida yang tidak larut atau kelutannya sangat kecil.

Untuk pengendapan kadmium hidroksida dapat dilakukan dengan penambahan soda kaustik (NaOH). Pengendapan kadmium hidroksida sangat dipengaruhi oleh dua faktor yaitu konsentrasi logam kadmium yang ada di dalam air dan pH air atau larutan. Diagram hubungan pengaruh pH dengan kelarutan kadmium hidroksida di dalam air dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Kelarutan Kadmium Hidroksida Di Dalam Air

Sumbu Y menunjukkan konsentrasi logam kadmium yang terlarut di dalam air dalam mg/l. Konsentrasi kadmium terlarut berkisar antara 100 mg/l dan 0,001 mg/l. Diagram kelarutan tersebut menunjukkan daerah dimana kadmium dalam keadaan terlarut atau mengendap. Daerah di atas garis hitam menunjukkan bahwa logam kadmium berada dalam keadaan padatan atau endapan sebagai kadmium hidroksida, sedangkan daerah di bawah atau di luar garis hitam menunjukkan bahwa kadmium berada dalam keadaan terlarut. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pengendapan kadmium hidroksida dapat berjalan dengan baik pada sekitar pH 11.

Di dalam air limbah pelapisan logam seringkali kadmium bergabung dengan senyawa kompleks sianida, oleh karena itu sianida harus dioksidasi dahulu sebelum penghilangan kadmium. Peralatan yang digunakan untuk proses pengendapan kadmium dapat dilakukan

dengan cara *batch* untuk mengolah konsentrat, atau dengan cara kontinyu untuk konsentrasi yang encer. Pengendapan kadmium dapat juga dilakukan dengan penambahan karbonat, fosfat atau sulfida selanjutnya dilakukan pengendapan kadmium karbonat, kadmium fosfat atau kadmium sulfida dengan penambahan garam kalsium (CaCO₃) atau besi (FeCl₃). Pengendapan kadmium sebagai karbonat efektif dilakukan pada pH 7,5 – 8,5.

3.3. Penghilangan Senyawa Khromium Valensi 6

Krom banyak dijumpai di dalam air limbah industri pelapisan logam atau industri cat dalam bentuk anion dikromat (Cr₂O₇²⁻). Sebelum diendapkan dikromat harus direduksi menjadi Cr³⁺. Reduksi krom valensi 6 atau heksavalen dilakukan pada pH 3 dengan penambahan sodium bisulfit. Reduksi krom valensi 6 dapat juga dilakukan dengan penambahan ion ferro (fero sulfat). Krom dalam bentuk dikromat dengan konsentrasi rendah dapat direduksi pada pH 6. Pengendapan krom yang telah direduksi dapat dilakukan sebagai hidroksida pada pH 8 - 9, sebagai garam fosfat atau sulfida.

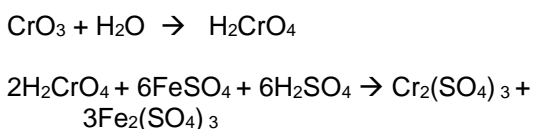
3.3.1. Pengolahan Senyawa Khrom Valensi 6 (Cr⁶⁺)

Pengolahan khrom ini dapat dilakukan dengan tiga cara antara lain :

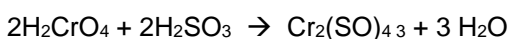
a. Cara reduksi Cr⁶⁺ Menjadi Cr³⁺ Yang Disusul Dengan Pengendapan Cr³⁺ Sebagai Hidroksida

Seperti halnya proses-proses kimia lain, maka proses reduksi Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺ dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor diantaranya adalah : waktu reaksi, pH, larutan konsentrasi Cr⁶⁺ dan banyaknya serta jenisnya bahan pereduksi yang dipakai. Makin tinggi konsentrasi Cr⁶⁺ dalam larutan proses reduksinya lebih lama daripada dengan konsentrasi rendah (2).

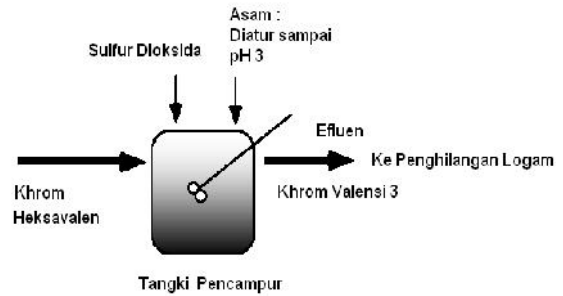
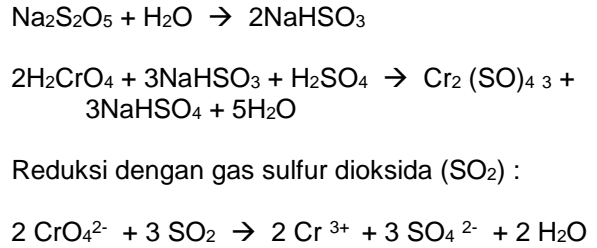
Reduksi dengan ferrosulfat :



Reduksi dengan SO₃ :



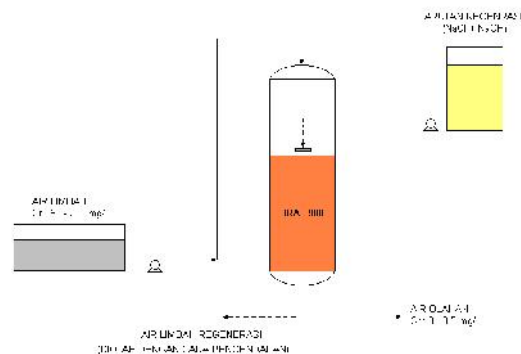
Reduksi dengan bisulfit :



Gambar 4. Reduksi Chrom Hexavalen Dengan Penambahan Sulfur Dioksida

b. Cara Dengan Mengikat Cr⁶⁺ Dengan Resin Tertentu (Ion Exchange)

Krom dapat dihilangkan dengan cara pertukaran ion baik menggunakan resin anion maupun resin kation. Krom sulit direduksi dalam bentuk metal karena mempunyai potensial oksidasi yang tinggi. Krom dalam bentuk kromat atau dikromat dapat dihilangkan dengan cara pertukaran ion dengan menggunakan resin anion, tetapi dengan konsentrasi yang besar dapat mengoksidasi resin sehingga umur resin menjadi pendek. Krom dengan valensi 2 atau 3 dapat dihilangkan secara efektif dengan menggunakan resin kation basa lemah (*weak base cation resin*) dalam bentuk sodium.



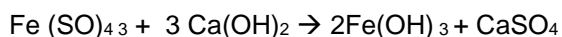
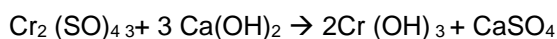
Gambar 5. Penghilangan Krom Dengan Proses Pertukaran Ion Menggunakan Resin Amberlite IRA -900

Salah satu contoh proses penghilangan krom dengan cara pertukaran ion dengan menggunakan resin penukar ion Amberlite IRA 900 dapat dilihat pada Gambar 5 (1).

c. Cara ketiga adalah pengambilan kembali Cr⁶⁺ dan Cr³⁺ dengan cara pengentalan.

Di antara ketiga cara pengolahan khrom tersebut yang banyak dilakukan adalah yang cara pertama yaitu proses reduksi. Dalam praktek cara reduksi ini lebih lanjut dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pertama pH larutan diturunkan terlebih dahulu sampai mendekati pH 3 dengan penambahan sulfat.
- Kemudian ditambahkan bahan kimia misalnya meta bisulfat / hidrosulfat/ ferrosulfat, sebagai bahan produksi yang mereduksi Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺.
- Larutan Cr³⁺ tersebut diberi kapur untuk mengendapkan Cr³⁺ dalam bentuk Cr(OH)₃. Reaksi pada proses pengendapan dengan kapur adalah sebagai berikut :



3.3.2. Pengolahan Senyawa Khrom Valensi 3 (Cr³⁺)

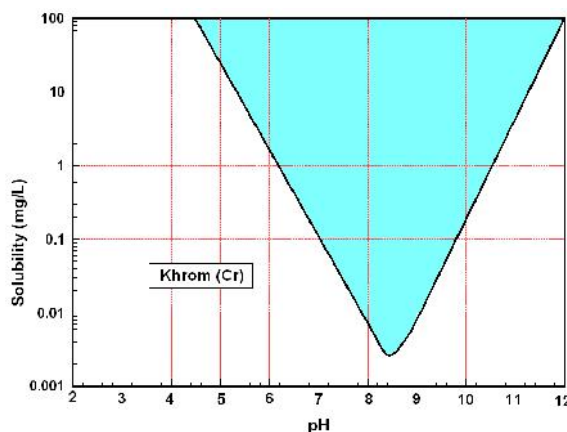
Cara pemisahan khrom valensi tiga (Cr³⁺) dilakukan antara lain :

- Proses pengendapan dengan kapur seperti telah diuraikan pada pengolahan metabisulfat, hidrosulfat atau ferrosulfat, sebagai bahan produksi yang mereduksi Cr⁶⁺, atau dengan menggunakan soda kaustik atau NaOH.
- Cara kedua adalah mengkonsentrasikan larutan kemudian diikat dengan resin dalam proses *ion exchange*.

Di dalam cara pengendapan dengan kapur atau soda kostik atau soda api, pH paling efektif adalah antara 8 - 9. Endapan (lumpur) Cr(OH)₃ dan Fe(OH)₃, biasanya masih mengandung 95% air. Endapan ini dapat dipisahkan dengan pengeringan (*filter beds*) atau penyaringan (*filter aid*). Kelarutan hidroksida krom di dalam air secara teoritis dapat dilihat pada Gambar 6.

3.4. Penghilangan Senyawa Perak (Ag)

Perak (Ag) umumnya banyak dijumpai di dalam air limbah pelapisan logam, industri proses fotografi, proses film X ray. Di dalam air limbah pelapisan logam konsentrasi Ag umumnya kurang dari 1 mg/l, dan biasanya bergabung dengan senyawa kompleks sianida. Di dalam air limbah industri fotografi konsentrasi Ag umumnya lebih tinggi dari 1 mg/l.



Gambar 6. Kelarutan Hidroksida Krom (Chrome Hydroxide) Secara Teoritis Di Dalam Air

Perak (Ag) tidak dapat diendapkan pada kondisi pH netral. Selain itu pengendapan perak sebagai karbonat juga kurang efektif. Pengendapan perak sebagai garam phospat dapat dilakukan sampai mencapai konsentrasi kurang dari 0,1 mg/l. Untuk air limbah konsentrat dengan konsentrasi perak yang tinggi proses pengendapan dapat dilakukan dengan sistem *batch*, sedangkan untuk air limbah dengan konsentrasi rendah dapat dilakukan dengan sistem kontinyu. Penghilangan logam perak di dalam air limbah dapat dilakukan secara efektif dengan proses pertukaran ion dengan menggunakan resin penukar ion tertentu (*sulfide base ion exchange resin*).

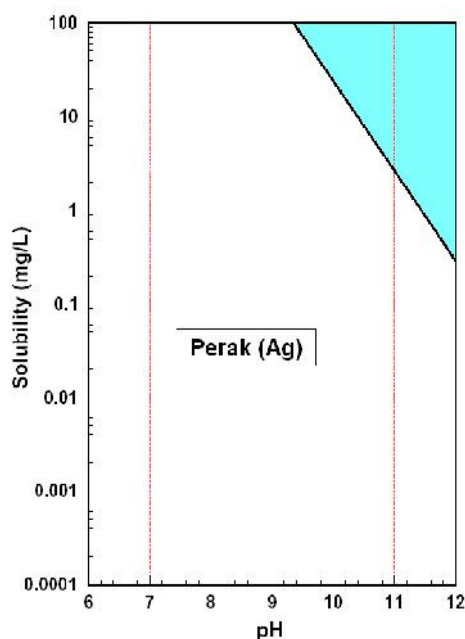
Pengendapan logam perak di dalam air limbah sebagai hidroksida dapat dilakukan dengan penambahan NaOH dan pengendapan efektif pada pH 11 – 12 dan konsentasi perak dapat diturunkan sampai 0,3 mg/l. Kelarutan hidroksida perak di dalam air secara teoritis dapat dilihat pada Gambar 7.

3.5. Penghilangan Senyawa Tembaga (Cu)

Logam tembaga (Cu) umumnya banyak dijumpai didalam air limbah pelapisan logam, industri kawat, industri cat, industri pengerjaan logam, industri pabrikasi papan sirkuit (*printed circuit board manufacturing*) dll. Konsentrasi logam Cu di dalam air limbah bervariasi dari beberapa ribuan mg/l untuk air limbah pencelupan pelapisan logam sampai sampai beberapa mg/l untuk air limbah proses pencucian.

Logam tembaga (Cu) di dalam air limbah dapat dihilangkan dengan cara pengendapan menjadi bentuk garam yang tak larut di dalam air, pengendapan sebagai logam tembaga dan dapat juga dihilangkan dengan proses pertukaran ion. Proses yang banyak digunakan umumnya adalah proses pengendapan logam

tembaga sebagai garam atau hidroksida yang tak larut di dalam air.



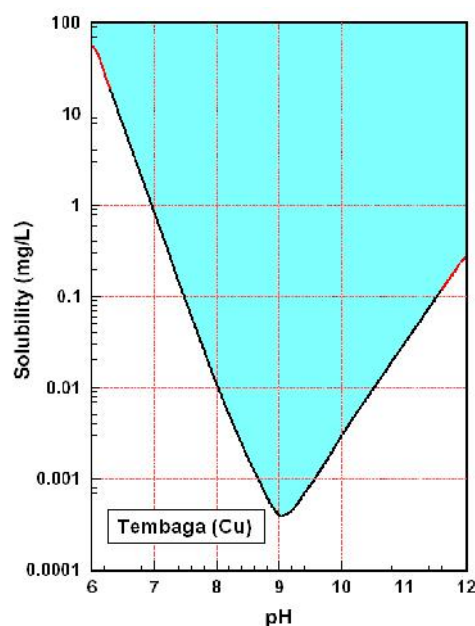
Gambar 7. Kelarutan Hidroksida Perak (*Silver Hydroxide*) Secara Teoritis Di Dalam Air

Senyawa tembaga dapat diolah dengan beberapa cara antara lain :

- mengendapkan sebagai hidroksida atau sulfida.
- Kedua menangkap ion Cu dengan resin tertentu dalam proses penukar ion atau *ion exchange*, dengan proses ini kadar Cu dari 1 ppm dapat diturunkan sampai 0,03 ppm.
- Ketiga dengan cara penguapan dan elektrolisa, cara ini lebih sesuai untuk air buangan dengan kadar Cu rendah.

Cara yang banyak dipakai dalam pengolahan Cu adalah proses pengendapan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau NaOH. Dengan menambahkan NaOH dan mengatur pH antara 8,5 – 9,5 hidroksida tembaga beserta logam-logam berat lainnya dapat mengendap sempurna. Kelarutan hidroksida tembaga (*copper hydroxide*) secara teoritis di dalam air dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada pH tersebut kelarutan tembaga hidroksida adalah yang terendah yaitu 0,001 mg/l. Pengendapan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau NaOH ini akan terganggu bila dalam larutan mengandung sianida, piro-sulfat atau senyawa kompleks lainnya. Untuk keadaan seperti ini sianida harus dipisahkan terlebih dahulu. Khusus untuk larutan yang mengandung piro-sulfat, pengendapan dilakukan pada pH tinggi yaitu sekitar 12.

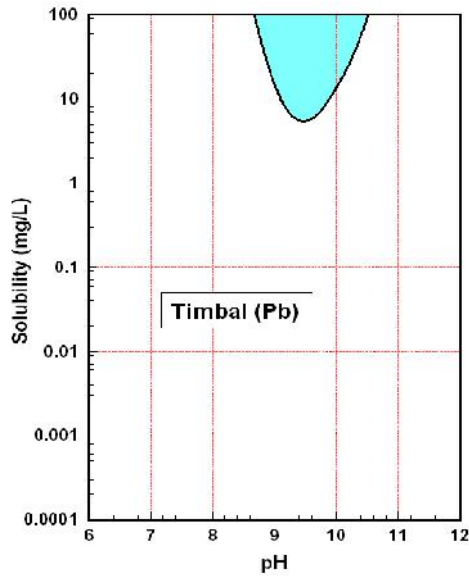


Gambar 8. Kelarutan Hidroksida Tembaga (*Copper Hydroxide*) Secara Teoritis Di Dalam Air

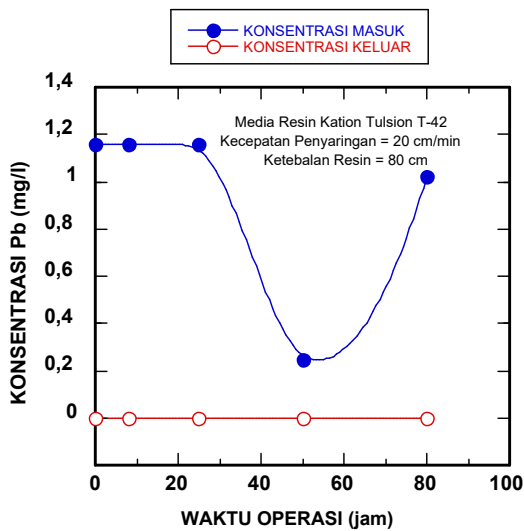
3.6. Penghilangan Senyawa Timbal (Pb)

Logam timbal (Pb) banyak dijumpai di dalam air limbah industri pabrikasi papan sirkuit (*printed circuit board manufacturing*), industri baterai, industri cat, industri perakitan peralatan elektronik, air lindi pembuangan sampah dll. Di dalam air lindi pembuangan akhir sampah senyawa timbal dapat ditemukan sebagai senyawa organo metalik misalnya *tetra ethyl lead* (TEL). Timbal hidroksida merupakan hidroksida logam yang agak larut di dalam air, oleh karena itu penghilangan logam timbal tidak dapat dilakukan dengan pengendapan hidroksida dengan cara pengaturan pH. Kelarutan timbal hidroksida di dalam air dapat dilihat pada Gambar 9.

Timbal di dalam air limbah dapat dihilangkan dengan cara pengendapan sebagai sulfida pada pH 7,5 - 8,5. Selain itu timbal di dalam air dapat juga diendapkan sebagai karbonat pada pH 7,5 - 8,5. Timbal karbonat (PbCO_3) cenderung membentuk endapan seperti kristal dibandingkan dengan timbal hidroksida $\text{Pb}(\text{OH})_2$ sehingga lebih mudah dilakukan penyaringan. Penghilangan logam timbal di dalam air dapat juga secara efektif dilakukan dengan proses pertukaran ion. Salah satu hasil percobaan dengan menggunakan resin Tulsion T-42 dapat menghilangkan timbal (Pb) dengan cukup efektif seperti terlihat pada Gambar 10 dan Tabel 2 (Lampiran).



Gambar 9. Kelarutan Hidroksida timbal (*Lead Hydroxide*) Secara Teoritis di Dalam Air



Gambar 10. Salah Satu Contoh Hasil Proses Penghilangan Timbal (Pb) Dengan Cara Pertukaran Ion

Penghilangan logam timbal dapat juga dilakukan dengan proses adsorpsi dengan karbon aktif, tetapi proses ini kurang efektif untuk konsentrasi Pb yang tinggi. Proses adsorpsi dengan karbon aktif biasanya dilakukan untuk proses *polishing* dengan konsentrasi Pb yang rendah atau untuk menghilangkan Pb dalam bentuk senyawa organik kompleks. Salah satu contoh hasil penghilangan Pb dengan karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 3 (Lampiran). Dibandingkan dengan proses pertukaran ion maka proses adsorpsi Pb dengan karbon aktif tersebut relatif kurang efektif.

3.7. Penghilangan Senyawa Nikel (Ni)

Logam nikel (Ni) banyak dijumpai di dalam air limbah pelapisan logam, industri pruduk metal, industri baja, industri kimia dan lainnya. Pengolahan senyawa nikel umumnya dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

- Mengendapkan dengan kapur (*lime*) yang dilakukan pada pH sekitar 12. Pengendapan senyawa nikel dapat pula dilakukan dengan ferrosulfat, juga pada pH sekitar 10.
- Cara kedua adalah proses pertukaran ion dengan menggunakan resin penukar kation (*cation exchanger resin*). Cara ini mampu menghasilkan air buangan bebas nikel. Kesulitan akan timbul bila di dalam larutan terdapat sianida, sebab sianida akan merusak resin yang digunakan.
- Cara ketiga adalah dengan proses penguapan atau proses filtrasi dengan membran osmosis balik (*reverse osmosis*). Pengolahan air limbah yang mengandung nikel biasanya dilakukan bersama-sama dengan unsur-unsur berbahaya lainnya. Diantaranya ketiga cara yang telah diuraikan diatas paling banyak dilakukan adalah pengendapan sebagai hidroksida dengan cara penambahan kapur (*lime*) atau dengan penambahan NaOH. Proses pengendapan efektif dilakukan pada pH 9 – 11, kondisi ini dapat menurunkan konsentrasi nikel sampai 0,01 mg/l. Kelarutan hidroksida nikel (*nickel hydroxide*) secara teoritis di dalam air dapat dilihat pada Gambar 11.

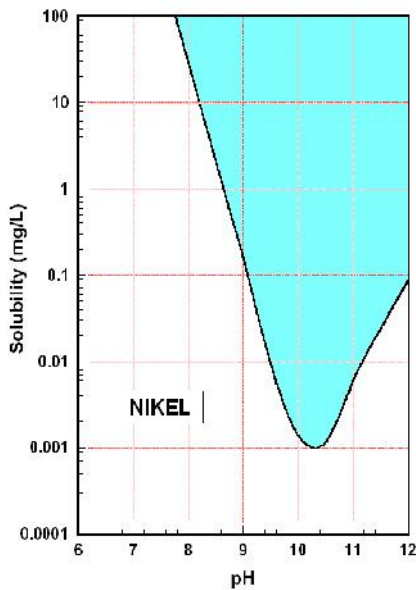
3.8. Penghilangan Senyawa Seng (Zn)

Penghilangan logam seng (Zn) dapat dilakukan dengan cara pengendapan sebagai hidroksida dengan penambahan lime, Ca (OH)₂ atau NaOH. Dengan mengatur pH air dengan harga tertentu akan dihasilkan proses pengendapan yang optimum. Kelarutan hidroksida seng (*zinc hydroxide*) secara teoritis di dalam air untuk berbagai macam kondisi pH dapat dilihat pada Gambar 12. Berdasarkan gambar tersebut jika kita mempunyai air limbah dengan konsentrasi Zn 5 mg/l dan pH = 6,8, maka kondisi air limbah ditunjukkan oleh **Titik A** pada Gambar 23. Oleh karena Titik A berada di bawah garis diagram kelarutan Seng hidroksida maka Zn dalam air limbah berada dalam bentuk terlarut.

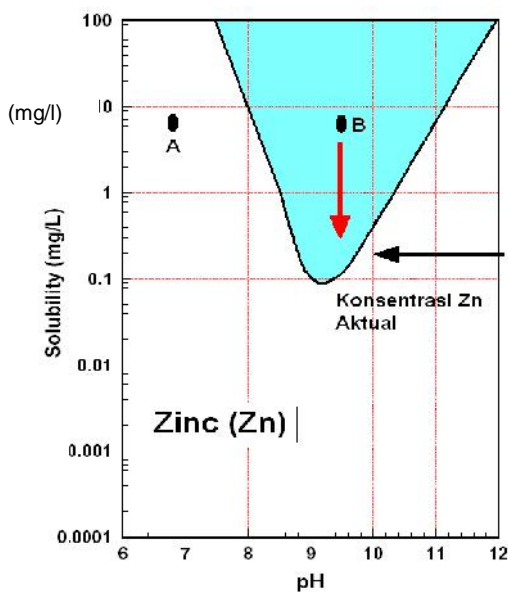
Jika pH air limbah dinaikan menjadi pH 9,5 dengan penambahan NaOH atau lime, Ca(OH)₂, maka kondisi air limbah pada diagram kelarutan seng hidroksida ditunjukkan oleh **Titik B**.

Titik B tersebut berada di atas garis kelarutan seng hidroksida sehingga sebagian

besar dari seng hidroksida akan berubah menjadi bentuk endapan atau padatan. Pada pH 9,5 kelarutan seng hidroksida berdasarkan diagram kelarutan tersebut adalah sekitar 0,1-0,2 mg/l. Harga ini adalah harga teoritis jumlah seng hidroksida yang tertinggal di dalam air limbah. Sedangkan sisa seng hidroksida sebesar 4,2 mg/l akan berada dalam bentuk padatan atau endapan. Dengan demikian dengan mengatur pH air limbah dari 6,8 menjadi 9,5 maka sebagian besar seng hidroksida terlarut secara efektif dapat diendapkan.



Gambar 11. Kelarutan Hidroksida Nikel (Nickel Hydroxide) Secara Teoritis Di Dalam Air



Gambar 12. Kelarutan Hidroksida Seng (Zinc Hydroxide) Secara Teoritis Di Dalam Air

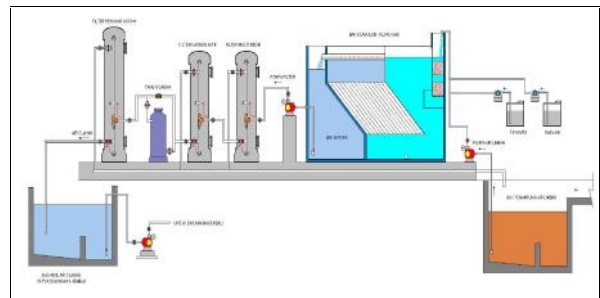
Endapan seng hidroksida tersebut masih dalam bentuk flok yang halus, oleh karena itu untuk memisahkan padatan seng hidroksida perlu proses koagulasi-flokulasi, sedimentasi atau filtrasi agar pemisahan padatan seng hidroksida dapat berjalan sempurna.

4. PILOT PLANT IPAL INDUSTRI KECIL PELAPISAN LOGAM

Unit IPAL industri kecil pelapisan logam ini dirancang sedemikian rupa agar cara operasinya mudah dan biaya operasionalnya murah. Unit ini terdiri dari perangkat utama dan perangkat penunjang. Perangkat utama dalam sistem pengolahan terdiri dari unit pencampur statis (*static mixer*), bak antara, bak koagulasi-flokulasi, saringan *multimedia*/kerikil, pasir, karbon, mangan zeolit (*multimedia filter*), saringan karbon aktif (*activated carbon filter*), dan saringan penukar ion (*ion exchange filter*).

Perangkat penunjang dalam sistem pengolahan ini dipasang untuk mendukung operasi *treatment* yang terdiri dari pompa air baku untuk intake (*raw water pump*), pompa dosing (*dosing pump*), tangki bahan kimia (*chemical tank*), pompa filter untuk memompa air dari bak koagulasi-flokulasi ke saringan/filter, dan perpipaan serta kelengkapan lainnya.

Proses pengolahan diawali dengan memompa air baku dari bak penampungan kemudian diinjeksi dengan bahan kimia ferrosulfat dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*), kemudian dicampur melalui *static mixer* supaya bercampur dengan baik. Kemudian air baku yang teroksidasi dialirkan ke bak koagulasi-flokulasi dengan waktu tinggal sekitar 2 jam. Setelah itu air dari bak dipompa ke saringan multimedia, saringan karbon aktif dan saringan penukar ion. Hasil air olahan di masukkan ke bak penampungan untuk digunakan kembali sebagai air pencucian. Diagram proses IPAL industri kecil pelapisan logam dapat dilihat pada Gambar 13. Kontruksi IPAL yang telah terpasang dapat dilihat seperti pada Gambar 14.



Gambar 13. Proses Pengolahan Limbah Industri Kecil Pelapisan Logam ⁽⁹⁾



Gambar 14. Kontruksi IPAL Pelapisan Logam Yang Telah Terpasang

4.1. Cara kerja IPAL

a. Pompa Air Baku (Raw Water Pump)

Pompa air baku yang digunakan jenis setrifugal dengan kapasitas maksimum yang dibutuhkan untuk unit pengolahan (daya tarik minimal 9 meter dan daya dorong 40 meter). Air baku yang dipompa berasal dari bak akhir dari proses pengendapan pada hasil buangan limbah industri pelapisan logam.

b. Pompa Dosing (Dosing Pump)

Merupakan peralatan untuk menginjeksi bahan kimia (*ferrosulfat* dan PAC) dengan pengaturan laju alir dan konsentrasi tertentu untuk mengatur dosis bahan kimia tersebut. Tujuan dari pemberian bahan kimia ini adalah sebagai oksidator.

c. Pencampur Statik (Static Mixer)

Dalam peralatan ini bahan-bahan kimia dicampur sampai homogen dengan kecepatan pengadukan tertentu untuk menghindari pecah flok.

d. Bak Koagulasi-Flokulasi

Dalam unit ini terjadi pemisahan padatan tersuspensi yang terkumpul dalam bentuk-bentuk flok dan mengendap, sedangkan air mengalir *overflow* menuju proses berikutnya.

e. Pompa Filter

Pompa yang digunakan mirip dengan pompa air baku. Pompa ini harus dapat melalui saringan multimedia, saringan karbon aktif, dan saringan penukar ion.

f. Saringan Multimedia

Air dari bak koagulasi-flokulasi dipompa masuk ke unit penyaringan multimedia dengan

tekanan maksimum sekitar 4 Bar. Unit ini berfungsi menyaring partikel kasar yang berasal dari air olahan. Unit filter berbentuk silinder dan terbuat dari bahan fiberglas. Unit ini dilengkapi dengan keran *multi purpose (multiport)*, sehingga untuk proses pencucian balik dapat dilakukan dengan sangat sederhana, yaitu dengan hanya memutar keran tersebut sesuai dengan petunjuknya.

Tinggi filter ini mencapai 120 cm dan berdiameter 30 cm. Media penyaring yang digunakan berupa pasir silika dan mangan zeolit. Unit filter ini juga didisain secara khusus, sehingga memudahkan dalam hal pengoperasiannya dan pemeliharannya. Dengan menggunakan unit ini, maka kadar besi dan mangan, serta beberapa logam-logam lain yang masih terlarut dalam air dapat dikurangi sampai sesuai dengan kandungan yang diperbolehkan untuk air minum.

g. Filter Karbon Aktif

Unit ini khusus digunakan untuk penghilang bau, warna, logam berat dan pengotor-pengotor organik lainnya. Ukuran dan bentuk unit ini sama dengan unit penyaring lainnya. Media penyaring yang digunakan adalah karbon aktif granular atau butiran dengan ukuran 1 - 2,5 mm atau resin sintesis, serta menggunakan juga media pendukung berupa pasir silika pada bagian dasar.

h. Filter Penukar Ion

Pada proses pertukaran ion, kalsium dan magnesium ditukar dengan sodium. Pertukaran ini berlangsung dengan cara melewatkan air sadah ke dalam unggun butiran yang terbuat dari bahan yang mempunyai kemampuan menukarkan ion. Bahan penukar ion pada awalnya menggunakan bahan yang berasal dari alam yaitu *greensand* yang biasa disebut zeolit, Agar lebih efektif Bahan *greensand* diproses terlebih dahulu. Di samping itu digunakan zeolit sintesis yang terbuat dari *sulphonated coals* dan *condensation polymer*.

Pada saat ini bahan-bahan tersebut sudah diganti dengan bahan yang lebih efektif yang disebut resin penukar ion. Resin penukar ion umumnya terbuat dari partikel *cross-linked polystyrene*. Apabila resin telah jenuh maka resin tersebut perlu diregenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan cara melewatkan larutan garam dapur pekat ke dalam unggun resin yang telah jenuh. Pada proses regenerasi terjadi reaksi sebaliknya yaitu kalsium dan magnesium dilepaskan dari resin, digantikan dengan sodium dari larutan garam.

i. Sistem Jaringan Perpipaan

Sistem jaringan perpipaan terdiri dari empat bagian, yaitu jaringan inlet (air masuk), jaringan outlet (air hasil olahan), jaringan bahan kimia dari pompa dosing dan jaringan pipa pembuangan air pencucian. Sistem jaringan ini dilengkapi dengan keran-keran sesuai dengan ukuran perpipaan. Diameter yang dipakai sebagian besar adalah 1" dan pembuangan dari bak koagulasi-flokulasi sebesar 2". Bahan pipa PVC tahan tekan, seperti rucika. Sedangkan keran (*ball valve*) yang dipakai adalah keran tahan karat terbuat dari plastik.

j. Tangki Bahan-Bahan Kimia

Tangki bahan kimia terdiri dari 2 buah tangki fiberglass dengan volume masing-masing 30 liter. Bahan-bahan kimia adalah ferrosulfat dan PAC. Bahan kimia berfungsi sebagai oksidator.

4.2. Spesifikasi Teknis IPAL

Disain pilot plant IPAL industri kecil pelapisan logam seperti terlihat pada Gambar 47 dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

Tangki Reaktor Koagulasi – Flokulasi

Dimensi : 450cm x 150cm x 225cm
 Bahan : Fiber Reinforced Plastic (FRP)
 Volume efektif : 10 m³
 Inlet Outlet : ¾ "
 Perlengkapan : Valve untuk pengurasan

Pompa Air Baku Limbah

Tipe : *Centrifugal Pump* CR2-30
 Bahan : *Stainless Steel*
 Listrik : 500 watt, 220 volt
 Tekanan : 5 bar

Pompa Filter

Tipe : *Centrifugal Pump* CR2-30
 Bahan : *Stainless Steel*
 Listrik : 500 watt, 220 volt
 Tekanan : 5 bar

Filter Multi Media

Kapasitas : 1,4 – 1,8 m³/jam
 Diameter : 10 inchi x 120 cm
 Bahan : *Polyvinil Chloride* (PVC)
 Sistem : *Semi Automatic Backwash*
 Tekanan : 3 bar
 Media : Kerikil, Pasir silika dan Mangan Zeolit

Filter Penukar Kation

Kapasitas : 1,4 – 1,8 m³/jam
 Diameter : 10 inchi x 150 cm
 Bahan : *Polyvinil Chloride* (PVC)
 Sistem : *Semi Automatic Backwash*
 Tekanan : 3 bar
 Media : Kerikil, Pasir silika dan *Ion exchange*

Tangki Bahan Kimia

Volume : 100 liter
 Bahan : *Fiber Reinforced Plastic*
 Jumlah : 2 unit

Pompa Dosing

Tipe : *Pulsa Feeder* 150/100
 Tekanan : 7 bar
 Kapasitas : 15 liter
 Jumlah : 2 unit

4.3. Uji Coba Di Lapangan

Berdasarkan hasil pengujian dengan sistem tersebut di atas dengan kondisi operasi :

Larutan Kapur : 20 %
 Larutan Tawas : 2 %
 Larutan Kaporit : 10 mg/l

didapatkan hasil pengolahan yang cukup baik yakni efisiensi penghilangan Zat Besi (Fe) 95,43 %, efisiensi penghilangan Nickel (Ni) 94,45%, Efisiensi Penghilangan Zinc (Zn) 66,72 % dan pH air menjadi 6,32. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Air Limbah Sebelum Dan Sesudah Pengolahan

| No | Parameter Air Limbah | Air Limbah (Mg/l) | Air Olahan (Mg/l) | Efisiensi Pengolahan (%) |
|----|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 1 | PH | 3,30 | 6,32 | - |
| 2 | Zat Besi (Fe) | 44,64 | 2,04 | 95,43 |
| 3 | Nickel (Ni) | 63,10 | 3,5 | 94,45 |
| 4 | Zinc (Zn) | 31,85 | 10,6 | 66,72 |
| 5 | Chrom Hexavalent | 0.06 | < 0,05 | - |

5. PENUTUP

Ada beberapa metoda untuk menghilangkan atau mengeluarkan logam berat di dalam air yaitu dengan proses oksidasi kimia, proses pertukaran ion, proses adsorpsi, proses elektrokimia, proses reverse osmosis serta alternatif lain dengan metoda biosorpsi. Tiap metoda mempunyai kelebihan serta kekurangan,

oleh karena itu pemilihan suatu metoda penghilangan logam berat tergantung dari kondisi pencemarnya misalnya konsentrasi logam berat di dalam air limbah, jenis logam berat, konsentrasi logam berat di dalam air olahan, serta ketersediaan lahan, debit air limbah yang akan diolah dan parameter lainnya.

Untuk mengolah air limbah yang mengandung beberapa jenis logam berat, maka untuk mendapatkan air olahan dengan kualitas yang diharapkan kemungkinan tidak dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu proses tertentu, dan hal tersebut harus dilakukan dengan kombinasi beberapa proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, T., "Yousui Haisui Shori Gijutsu". Mitsui Shuppan, 1974.
- Cheremisinoff, Paul N., *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1995.
- Design Criteria for Waterworks Facilities*, Japan Water Works Association (JWWA), 1978.
- EPA, " *Capsule Report : Aqueous Mercury Treatment* ", National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, US EPA Cincinnati, OH 45268.1997.
- Friberg L, Nordberg G F and Vouk V B, Eds., *Handbook of the toxicology of metals*. Amsterdam, Elsevier, 1986
- Hamer, M. J., " *Water And Waste water Technology* ", Second Edition, John Wiley And Sons, New York, 1986.
- JICA : *Water Supply Engineering Vol. I*. Edited by Japan Water Work Association.1990.
- Slamet, Juli Soemirat, 1996. *Kesehatan Lingkungan*. Gajah Mada University Press.
- Yudo, Satmoko dan Said, Nusa Idaman, *Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Pelapisan Logam*. Jurnal Air Indonesia (JAI), Volume 1, No. 1, 2005.

LAMPIRAN :

Tabel 1. Urutan Tingkat Selektivitas Penukaran Ion Logam Berat Untuk Beberapa Jenis Resin Penukar Ion (EPA, 1997)

| Resin | Urutan Tingkat Penukaran Ion (Order Of Selectivity) |
|-------------------|---|
| Duolite ES-466 | Hg ²⁺ >Cu ²⁺ >Fe ²⁺ >Ni ²⁺ >Pb ²⁺ >Mn ²⁺ >Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ |
| Dowex A-1 | Cu ²⁺ > Hg ²⁺ > Ni ²⁺ > Pb ²⁺ >Zn ²⁺ >Co ²⁺ >Cd ²⁺ > Fe ²⁺ > Mn ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ |
| Nisso Alm-525 | Hg ²⁺ > Cd ²⁺ > Zn ²⁺ > Pb ²⁺ > Cu ²⁺ >Ag ⁺ >Cr ³⁺ > Ni ²⁺ |
| Diaion CR-1 0 | Hg ²⁺ >Cu ²⁺ > Pb ²⁺ > Ni ²⁺ > Cd ²⁺ > Zn ²⁺ > Co ²⁺ > Mn ²⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺ >Ba ²⁺ >Sr ²⁺ >>>Na ⁺ |
| Amberlite IRC-718 | Hg ²⁺ >Cu ²⁺ > Pb ²⁺ > Ni ²⁺ > Zn ²⁺ > Cd ²⁺ > Co ²⁺ > Fe ²⁺ > Mn ²⁺ > Ca ²⁺ |
| Unicellex UR-10 | Hg ²⁺ >Cu ²⁺ > Fe ²⁺ >Al ³⁺ > Ni ²⁺ > Pb ²⁺ > Cr ³⁺ > Zn ²⁺ > Cd ²⁺ >Ag ²⁺ > Mn ²⁺ >Ca ²⁺ > Mg ²⁺ >>>Na ⁺ |
| Sirorez-Cu | pH>5. Cu ²⁺ ; pH>0. Hg ²⁺ |
| Sumchelate Q-1 0 | HgCl ₂ >AuCl ₄ >Ag ⁺ >Cr ₂ O ₇ ²⁻ |

Tabel 2. Hasil Percobaan Proses Penukar Ion, Dengan Kandungan Air Baku Pb 1,02 mg/l dan Cr 0,18 mg/l

| No | Ketebalan resin (cm) | Konsentrasi Pb (mg/l) | Konsentrasi Cr (mg/l) | Penurunan Pb (%) | Penurunan Cr (%) |
|----|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| 1 | 20 | 0,19 | 0,09 | 81,4 | 50 |
| 2 | 40 | 0,02 | 0,07 | 98 | 61 |
| 3 | 60 | - | 0,02 | 100 | 88,9 |
| 4 | 80 | - | - | 100 | 100 |
| 5 | outlet | - | - | 100 | 100 |

Catatan : Resin yang dipakai : Tulsion T- 42

Tabel 3. Hasil Percobaan Proses Saringan Arang Aktif, dengan Kandungan Air Baku Pb 1,16 mg/l dan Cr 1,01 mg/l

| No. | Ketebalan arang aktif (cm) | Konsentrasi Pb (mg/l) | Konsentrasi Cr (mg/l) | Penurunan Pb (%) | Penurunan Cr (%) |
|-----|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| 1 | 20 | 1,01 | 0,92 | 12,9 | 8,9 |
| 2 | 40 | 0,83 | 0,90 | 28,5 | 10,9 |
| 3 | 60 | 0,77 | 0,78 | 33,6 | 22,8 |
| 4 | 80 | 0,67 | 0,67 | 42,2 | 33,7 |
| 5 | Outlet | 0,60 | 0,58 | 48,3 | 42,3 |