BAB III
DASAR TEORI

3.1 Bijih Besi

Besi merupakan logam kedua yang paling banyak di bumi ini. Karakter dari endapan ini bisa berupa endapan logam yang berdiri sendiri namun seringkali ditemukan berasosiasi dengan mineral logam lainnya. Kadang besi ditemukan sebagai kandungan logam tanah (residual), namun besi jenis ini jarang memilki nilai ekonomis tinggi. Adapun endapan bijih besi yang memiliki nilai ekonomis umumnya berupa magnetit, hematit, limonit, dan siderit. Kadang kala dapat berupa mineral pirit, pirotit, *marcasite*, dan *chamosite*.

Berdasarkan keterjadiannya, endapan bijih besi dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis. Pertama adalah endapan bijih besi primer yang terjadi karena proses hidrotermal. Kedua adalah endapan bijih besi laterit yang terbentuk akibat proses pelapukan. Ketiga adalah endapan pasir besi yang terbentuk karena proses rombakam dan sedimentasi secara kimia dan fisika. Beberapa jenis genesa dan endapan yang memungkinkan endapan besi bernilai ekonomis antara lain:

1. Magmatik, terdiri dari magnetit dan *titaniferous magnetite*.
2. Metasomatik kontak, terdiri dari magnetit dan *spelcurite*.
3. Pergantian atau *replecement*, terdiri dari magnetit dan hematit.
4. Sedimentasi atau *placer*, terdiri dari hematit, limonit, dan siderit.
5. Konsentrasi mekanik dan residual, terdiri dari hematit, magnetit, dan limonit.
6. Oksidasi, terdiri dari limonit dan hematit.
7. Letusan gunung api.

::repository.unisba.ac.id::

Dari mineral-mineral bijih besi, magnetit merupakan mineral dengan kandunan Fe paling tinggi, tetapi terdapat dalam jumlah kecil. Sementara hematit merupakan mineral bijih utama yang dibutuhkan dalam industri besi. Mineral-mineral pembawa besi dengan nilai ekonomis, susunan kimia, kandungan Fe, serta klasifikasi komersil (M. L. Jensen & A.M. Bateman, 1991) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Mineral-Mineral Bijih Besi Bernilai Ekonomis

Mineral	Susunan Kimia	Kandungan Fe (%)	Klasifikasi Komersil
Magnetit	FeO, Fe_2O_3	72,4	Magnetik atau bijih hitam
Hematit	Fe_2O_3	70,0	Bijih merah
Limonit	$Fe_2O_3.nH_2O$	59-63	Bijih Coklat
Siderit	$FeCO_3$	48,2	*Spathic, blanc band, clay ironstone*

Sumber : M. L. Jensen & A. M. Baterman, 1981

3.2 Pengolahan Bijih Besi

Pengolahan bahan galian (*ore dressing* atau *ore benefication*) adalah suatu proses pengolahan bijih (*ore*) secara mekanik untuk memisahkan mineral berharga dengan mineral pengotornya berdasarkan sifat fisika atau sifat kimia-fisika permukaan mineral.

Bijih yang dilakukan pengolahan bahan galian akan mengalami peningkatan kadar, sehingga melalui proses tersebut diharapkan diperoleh keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Mengurangi ongkos transportasi dari tempat pengolahan menuju tempat peleburan. Hal ini dikarenakan mineral berharga telah dipisahkan dari pengotornya sehingga volume angkutan berkurang.
2. Mengurangi biaya peleburan. Dengan naiknya kadar bijih maka logam berharga semakin tinggi untuk berat yang sama, sehingga dalam satuan waktu

::repository.unisba.ac.id::

tertentu logam hasil peleburan akan lebih banyak jika dibandingkan dengan peleburan bijih kadar rendah.

3. Mengurangi bahan imbuh (*flux*) selama peleburan. Semakin tinggi kadar bijih berarti semakin kecil pula kadar mineral pengotor, sehingga bahan imbuh yang dibutuhkan dalam proses pemurnian juga semakin sedikit.

Bijih dari area tambang atau *run off mine* (ROM) umumnya masih berukuran relatif besar, sehingga mineral belum terliberasi. Oleh karenanya, diperlukan langkah liberasi melalui proses reduksi ukuran dengan menggunakan alat peremuk (*crusher*) dan alat penggiling (*grinding mill*). Proses dilanjutkan dengan pengelompokan ukuran (*sizing*) agar ukuran partikel yang pada tahap konsentrasi memiliki urukan yang sama. *Sizing* dapat dilakukan dengan cara pengayakan (*screening*) maupun klasifikasi (*classifying*).

Tahap selanjutnya adalah konsentrasi. Konsentrasi merupakan proses pemisahan mineral utama dengan mineral pengotornya. Konsentrasi dilakukan dengan menggunakan alat yang dirancang berdasarkan perbedaan sifat fisika mineral atau sifat kimia-fisika permukaan mineral. Ataupun sifat-sifat tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2
Cara Pemisahan Mineral Berdasarkan Sifat Fisik atau Sifat Kimia-Fisika Permukaan

Sifat Fisika Mineral atau Sifat Kimia-Fisika Permukaan Mineral	Cara Pemisahan
Warna, kilap, bentuk kristal	*Hand Sorting*
Berat jenis	*Gravity Concentration*
Kemagnetan	*Magnetic sepration*
Konduktivitas	*High tension seperation*
Sifat permukaan mineral senang tidaknya terhadap udara	Flotasi

Sumber : Ir. M Winanto Ajie PH, M.Sc. et al, 2006

::repository.unisba.ac.id::

Hasil dari proses konsentrasi berupa konsentrat (mineral berharga) dan *tailing* (mineral pengotor). Apabila proses konsentrasi yang dilakukan merupakan proses basah, maka diperlukan proses *dewatering* untuk mengurangi kandungan air. *Dewatering* dapat dilakukan melalui 3 tahap, yaitu : *thickening, filtering,* dan *drying*.

Dalam pengolahan bijih besi, proses pengolahan dilakukan sesuai dengan tahapan diatas yaitu dimulai dengan langkah liberasi melalui proses *crushing*, dilanjutkan dengan langkah pemilahan berdasarkan ukuran (*sizing*), kemudian diikuti dengan langkah pencucian (*washing*). Setelah semua langkah tersebut, proses dilanjutkan pada tahapan selanjutnya yaitu konsentrasi. Konsentrasi yang umum dilakukan untuk bijih besi adalah *magnetic separation*.

Magnetic separation merupakan proses pemisahan mineral utama dari mineral pengotornya dengan memanfaatkan perbedaan sifat kemagnetan antara mineral-mineralnya. Sifat kemagnetan ini berkaitan dengan permeabilitas, dimana apabila suatu zat memiliki permeabilitas lebih besar dibandingkan udara dikelompokkan sebagai paramagnetik, sementara zat yang permeabilitasnya lebih rendah dibanding udara akan dikelompokkan sebagai diamagnetik. Mineral kelompok paramagnetik merupakan mineral yang dapat ditarik oleh magnet, sedangkan mineral kelompok diamagnetik merupakan mineral yang akan ditolak magnet. Mineral kelompok paramagnetik yang memberikan respon yang sangat kuat terhadap magnet diklasifikasikan sebagai ferromagnetik dan meliputi mineral-mineral seperti magnetit, pirotit, dan ilmenit. Selain itu, terdapat pula mineral kelompok paramagnetik lain yang tidak termasuk feromagnetik diantaranya hematit, limonit, dan garnet. Mineral-mineral yang termasuk kedalam feromagnetik dapat dipisahkan dengan mineral lainnya dengan menggunakan separator intensitas

::repository.unisba.ac.id::

rendah. Sedangkan untuk pemisahan mineral paramagnetik lemah dengan mineral diamagnetik, diperlukan separator dengan intensitas tinggi.

3.3 Air Limbah

Air limbah adalah air yang telah mengalami penurunan kualitas karena pengaruh kegiatan penambangan dan pengolahan. Air limbah yang telah diolah dan dinetralkan kemudian dilepaskan ke badan air penerima melalui saluran pengeluaran. Sistem pembuangan air limbah merupakan infrastruktur fisik yang mencakup pipa, pompa, penyaring, kanal, dan sebagainya yang digunakan untuk mengalirkan air limbah dari tempatnya dihasilkan ke tempat di mana air tersebut akan diolah atau dibuang. Berikut merupakan uraian beberapa elemen penting dari baku mutu air serta dampaknya terhadap lingkungan (Wahyu Widowati, 2008).

1. pH Air

   Nilai pH yang normal berada antara 6 – 8 pH, air terpolusi berbeda-beda tergantung dari jenis buangannya. Buangan yang banyak mengandung asam-asam organik biasanya akan meningkatkan keasaman air. Air buangan industri-industri bahan organik pada umumnya mengandung asam mineral dalam jumlah yang tinggi, sehingga keasaman juga tinggi atau pH nya rendah. Perubahan keasaman pada air buangan, baik ke arah alkali (pH naik) maupun ke arah asam (pH turun) akan sangat mengganggu kehidupan ikan dan hewan air. Air buangan yang mempunyai pH rendah bersifat sangat korosif terhadap baja dan sering menyebabkan karat pada besi.

2. *Disolved Solid* (TDS) dan *Total Suspended Solid* (TSS)

   TDS merupakan konsentrasi jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air. Oleh karena itu, analisis TDS menyediakan pengukuran kualitatif dari jumlah ion terlarut, tetapi tidak menjelaskan pada sifat

::repository.unisba.ac.id::

atau hubungan ion. Selain itu, pengujian tidak memberikan wawasan dalam masalah kualitas air yang spesifik. Oleh karena itu, analisis TDS digunakan sebagai uji indikator untuk menentukan kualitas umum dari air. Unsur kimia yang paling umum adalah kalsium, fosfat, nitrat, natrium, kalium dan klorida. Bahan kimia dapat berupa kation, anion, molekul atau aglomerasi dari ribuan molekul. Beberapa TDS alami berasal dari pelapukan dan pelarutan batu dan tanah.

TSS adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. TSS merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan. TSS tidak hanya menjadi ukuran penting erosi di alur sungai, juga berhubungan erat dengan transportasi melalui sistem sungai nutrisi (terutama fosfor), logam, dan berbagai bahan kimia industri dan pertanian.

3. Warna, Bau, dan Rasa

Warna air yang terdapat di alam sangat bervariasi dan biasanya menunjukkan adanya polusi apabila warnanya tidak normal. Warna air dapat dibedakan atas dua macam yaitu warna sejati (*true color*) yang disebabkan oleh bahan-bahan terlarut, dan warna semu (*apparent color*) yaitu selain adanya bahan-bahan terlarut juga adanya bahan-bahan tersuspensi, termasuk diantaranya yang bersifat koloid. Bau air tergantung dari sumber airnya dan dapat disebabkan oleh bahan-bahan kimia, ganggang, plankton, atau tumbuhan dan hewan air. Air yang berbau sulfat disebabkan oleh reduksi sulfat dengan adanya bahan-

::repository.unisba.ac.id::

bahan organik dan mikroorganisme anaerobik. Rasa tidak terdapat pada air yang normal. Timbulnya rasa yang menyimpang biasanya disebabkan oleh adanya polusi, sehingga rasa yang menyimpang tersebut dihubungkan dengan bau.

4. Timbal

   Polusi timbal dapat terjadi di udara di air maupun di dalam tanah. Daya racun timbale di dalam tubuh adalah penghambatan enzim oleh ion-ion Pb^2. Enzim yang diduga dihambat adalah enzim yang diperlukan untuk pembentukan hemoglobin. Penghambatan tersebut disebabkan terbentuknya ikatan yang kuat antara Pb^{2+} dengan grup sulfur yang terdapat di dalam asam-asam amino dari enzim tersebut.

5. Seng

   Seng (Zn) adalah metal yang didapat pada industri alloy, keramik, kosmetik, pigmen dan karet. Tubuh memerlukan Zn untuk proses metabolisme, tapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Di dalam air minum Zn akan menimbulkan rasa kesat dan dapat menimbulkan muntaber.

6. Tembaga

   Tembaga (Cu) sebetulnya diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia, tetapi dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala Ginjal dan Hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kramp, konvulusi, shock, koma dan dapat juga menyebabkan kematian.

Adapun baku mutu air limbah bagi kegiatan pertambangan bijih besi sebagai mana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) Nomor 21 tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, dapat dilihat pada Tabel 3.3.

::repository.unisba.ac.id::

Tabel 3.3
Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Pertambangan Bijih Besi

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	
			Kegiatan Penambangan	Kegiatan Pengolahan
1	pH	mg/L	6 – 9	6 – 9
2	TSS	mg/L	200	50
3	Besi (Fe)	mg/L	5	5
4	Mangan (Mn)	mg/L	1	1
5	Seng (Zn)	mg/L	5	5
6	Tembaga (Cu)	mg/L	1	1
7	Timbal (Pb)	mg/L	0,1	0,1
8	Nikel (Ni)	mg/L	0,5	0,5
9	Kromium [Cr (VI)]	mg/L	0.1	0.1

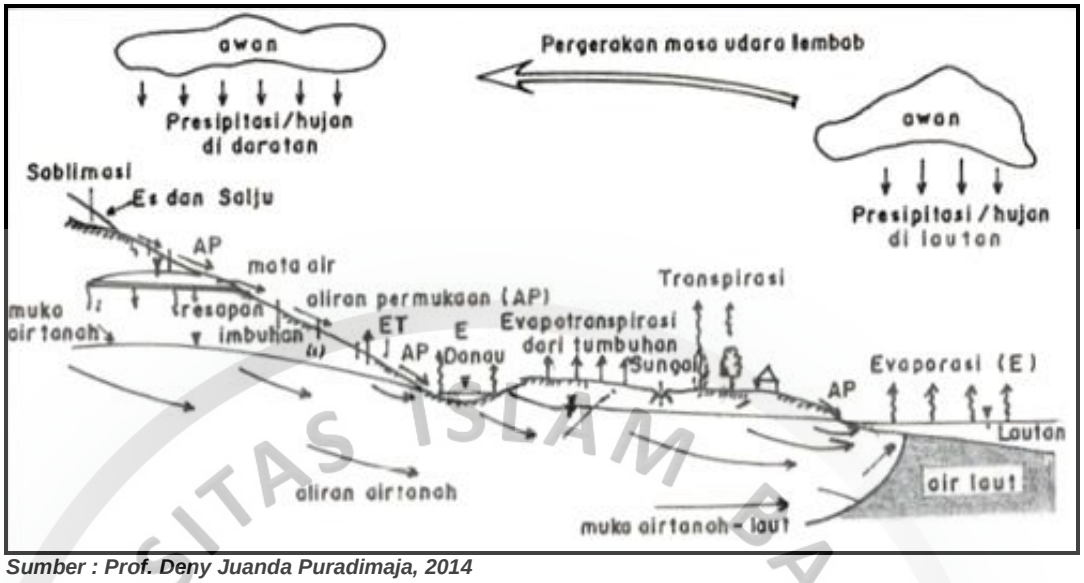
Sumber : Permen LH No. 21 tahun 2009

3.4 Sistem Penyaliran Tambang

3.4.1 Siklus Hidrologi

Air yang berada di dalam maupun di permukaan bumi mengalami proses yang membentuk daur. Secara umum daur *hidrologi* terjadi karena air yang menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut akan terkondensasi dan kembali jatuh ke bumi. Kejadian ini disebut *presipitasi* yang dapat berbentuk hujan, salju, atau embun. Peristiwa perubahan air menjadi uap air dan bergerak dari permukaan tanah ke udara disebut *evaporasi,* sedangkan penguapan air dari tanaman disebut *transpirasi*. Jika kedua proses ini terjadi secara bersama-sama maka disebut *evapotranspirasi*. Untuk lebih jelasnya daur hidrologi (Prof. Deny Juanda Puradimaja, 2014) dapat dilihat pada Gambar 3.1.

::repository.unisba.ac.id::



Sumber : Prof. Deny Juanda Puradimaja, 2014

Gambar 3.1
Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi memegang peranan penting dalam perencanaan sistem penyaliran tambang karena erat kaitannya dengan air limpasan permukaan. Adapun beberapa faktor dalam siklus hidrologi yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan system penyaliran tambang sebagai berikut.

1. Presipitasi

   Presipitasi adalah istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengkondensasi dan jatuh dari atmosfir ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan dan jika berupa padat disebut salju.

2. Infiltrasi

   Infiltrasi merupakan proses meresapnya sebagian atau seluruh air hujan yang jatuh pada permukaan tanah yang masuk melalui pori-pori permukaan tanah tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah kemiringan tanah, kelembaban tanah dan suhu air. Kemiringan tanah berpengaruh terhadap laju infiltrasi, karena dengan semakin miringnya permukaan tanah maka kapasitas infiltrasi akan semakin berkurang. Besarnya kelembaban tanah akan

::repository.unisba.ac.id::

berpengaruh kepada derajat penggumpalan. Bila kelembaban air tinggi maka akan menaikan derajat penggumpalan dan sebaliknya.

Tanah terdiri dari butir-butir dengan ruangan-ruangan yang disebut pori (*Void*) antara butir-butir tersebut. Pori-pori ini selalu berhubungan satu dengan yang lain sehingga air dapat mengalir melalui ruangan pori tersebut. Proses ini disebut rembesan (*seepage*) dan kemampuan tanah untuk dapat dirembes air disebut daya rembesan (*permeability*).

3. Limpasan (*Run off*)

Limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang paling rendah tanpa memperhatikan asal atau jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran. Limpasan yang muncul akan sangat dipengaruhi oleh jenis kondisi wilayah yang dilalui air limpasan, dimana masing-masing jenis kondisi wilayah memiliki koefisien (Prof. Rudy Sayoga Gautama, 1999) yang berbeda-beda (Tabel 3.4). Debit limpasan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Q = 0,278.C.I.A

Dimana, Q : Debit limpasan (m^3/jam)

C : Koefisien limpasan

I : Intensitas curah hujan (m/jam)

A : Luas *catchment area* (m^2)

Tabel 3.4
Koefisien Limpasan

No	Kemiringan	Tata Guna Lahan	Nilai
1	Datar, < 3%	a. Sawah dan rawa b. Hutan dan kebun c. Pemukiman dan taman	0,2 0,3 0,4
2	Menengah, 3% - 15%	a. Hutan dan kebun b. Pemukiman c. Tumbuhan yang jarang	0,4 0,5 0,6

::repository.unisba.ac.id::

Lanjutan Tabel 3.4

		d. Tanpa tumbuhan dan daerah penimbunan	0,7
3	Curam, > 15%	a. Hutan b. Pemukiman dan kebun c. Tumbuhan yang jarang d. Tanpa tumbuhan dan daerah tambang	0,6 0,7 0,8 0,9

***Sumber* : *Prof. Rudy Sayoga Gautama*, 1999**

Air limpasan disebut juga air permukaan, yaitu air yang mengalir di permukaan tanah. Limpasan hanya akan terjadi bila laju hujan melebihi laju *infiltrasi* (sebagian air hujan memasuki bawah permukaan tanah). Setelah laju *infiltrasi* terpenuhi, air mulai mengisi cekungan-cekungan kecil atau besar pada permukaan tanah, setelah cekungan terpenuhi maka terjadilah limpasan.

4. Air Tanah

Air tanah adalah air yang keterdapatannya berada di dalam tanah (di bawah permukaan), air tersebut berada di bawah ruang pori antara butir dan di dalam rekahan-rekahan batuan (air celah). Uap air yang mengembun dapat masuk ke dalam tanah secara langsung untuk membentuk air tanah. Banyaknya air yang tertampung di bawah permukaan tergantung pada keseragaman lapisan di bawah tanah. Di atas permukaan air tanah, biasanya ada suatu daerah jenuh yang tipis karena kapilaritas. Uap air akan ditahan pada celah-celah tanah terhadap gaya grafitasi oleh gaya yang disebut tegangan permukaan (*surface tension*). Berikut ini merupakan jenis-jenis lapisan pembawa air:

a. Akuifer

Akuifer adalah lapisan batuan atau tanah yang permeabel atau lulus, sehingga dapat meluluskan air. Akuifer dapat dibedakan menjadi empat kelompok utama yaitu:

i. Akuifer tertekan

Akuifer tertekan adalah akuifer yang seluruhnya bersifat jenuh air dan diapit oleh lapisan kedap air. Dalam akuifer tertekan biasanya

::repository.unisba.ac.id::

mempunyai tekanan air yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer dan kedudukan muka air di dalam sumur yang menembus akuifer tertekan ini berada di atas lapisan akuifer dan bila muka air berada di atas permukaan tanah maka disebut air artesis.

ii. Akuifer tak tertekan

Akuifer tak tertekan adalah lapisan lulus air yang hanya bagian bawahnya saja bersifat jenuh air dilapisi oleh lapisan kedap air dan batas atasnya adalah muka air tanah. Air tanah tak tertekan disebut pula sebagai air tanah bas.

iii. Akuifer semi-tertekan

Adalah akuifer yang seluruhnya bersifat jenuh air dialasi oleh lapisan kedap air ataupun oleh lapisan semi lulus air dan dibagian atasnya ditutupi oleh akuitar.

b. *Aquifug*

Aquifug adalah lapisan batuan atau tanah tidak lulus air sehingga tidak memiliki kemampuan untuk menyimpan dan meluluskan air.

c. *Aquiclude*

Aquiclude adalah lapisan batuan atau tanah yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkannya.

d. *Aquitar*

Aquitar merupakan akuifer secara regional mempengaruhi neraca air tetapi tidak cukup untuk dimanfaatkan.

3.4.2 Curah Hujan

Curah hujan adalah banyaknya hujan yang terjadi pada suatu daerah. Curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan sistem penirisan,

::repository.unisba.ac.id::

karena besar kecilnya curah hujan pada suatu daerah tambang akan mempengaruhi besar kecilnya air yang masuk ke daerah tambang.

Curah hujan merupakan data yang paling utama dalam perencanaan kegiatan penirisan tambang terbuka. Data curah hujan dapat diukur dengan pengamatan curah hujan, pengamatan curah hujan ini dilakukan dengan alat pengukur curah hujan, ada dua jenis alat pengukur curah hujan, alat ukur manual dan otomatis. Alat pengukur curah hujan ini harus diletakkan di tempat terbuka agar air hujan yang jatuh tidak terhalangi oleh pepohonan ataupun bangunan. Satuan curah hujan adalah milimeter (mm) yang berarti jumlah air hujan yang jatuh pada satuan luas tertentu, jadi 1 mm curah hujan berarti pada luas 1 m^2 area jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 liter.

Dalam kaitannya dengan perencanaan sistem penyaliran tambang, beberapa faktor yang perlu diperhatikan terkait curah hujan diantaranya adalah:

1. Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

   Daerah tangkapan hujan (*catchment area*) adalah luas permukaan dimana jika terjadinya hujan, maka air hujan tersebut akan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan menuju titik pengaliran. Air hujan yang jatuh ke permukaan sebagian akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi), sebagian ditahan oleh tumbuhan (intersepsi), dan sebagian lagi akan mengisi cekungan-cekungan di permukaan, setelah cekungan-cekungan terisi maka terjadi air limpasan dan akan mengalir ke tempat yang paling rendah. Daerah tangkapan hujan dibatasi oleh bukit-bukit dan penggunungan.

2. Intensitas Hujan

   Intensitas curah hujan adalah besar curah hujan (mm) yang terjadi dalam waktu tertentu (jam). Berdasarkan tinggi rendahnya nilai *intensitas* suatu curah hujan,

::repository.unisba.ac.id::

curah hujan dapat diklasifikasikan ke dalam lima tingkatan (Prof. Rudy Sayoga Gautama, 1999) dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5
Keadaan dan Curah Hujan

Keadaan Hujan	Curah Hujan (mm)	
	1 Jam	24 Jam
Hujan sangat ringan	< 1	< 5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal	5-10	20-50
Hujan lebat	10-15	50-100
Hujan sangat lebat	>20	>100

***Sumber : Prof. Rudy Sayoga Gautama*, 1999**

Besarnya intensitas curah hujan dapat dihtung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{R}{24} \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3}$$

Dimana, I : Intensitas hujan (mm/jam)

R : Curah hujan rancangan

tc : Lama waktu konsentrasi (jam)

3. Periode Curah Hujan

Periode curah hujan adalah hujan yang turun dalam waktu tertentu atau hujan yang turun dalam waktu n tahun. Jika suatu data curah hujan mencapai nilai tertentu (x) yang diperkirakan terjadi dalam n tahun, maka n tahun adalah priode ulang x. Dalam perhitungan curah hujan rancangan priode ulang tertentu dapat dihitung dengan metode distribusi *Gumbel* (Sri Harto, 1993) dengan tahapan sebagai berikut.

a. Menghitung standar deviasi (∂), dengan rumus:

$$\partial = \sqrt{\frac{\sum(Xn - Xn_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

Dimana, ∂ : Standar deviasi.

Xn : Curah hujan maksimum ke-n.

::repository.unisba.ac.id::

n : Banyak data.

b. Menghitung koreksi variasi (Yt), dengan rumus:

$$Yt = -\log\left(-\log\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)$$

Dimana, Yt : Koreksi variasi.

T : Periode ulang (tahun).

c. Menghitung koreksi rata-rata (Yn), dengan rumus

$$Yn = -\log\left(-\log\left(\frac{n+1-m}{n+1}\right)\right)$$

Dimana, Yn: Koreksi rata-rata.

n : Banyak data.

m : Peringkat data.

d. Menghitung koreksi simpangan (∂n), dengan rumus:

$$\partial n = \sqrt{\frac{\sum(Yn - Yn_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

Dimana, ∂n : Koreksi rata-rata.

Yn: Koreksi data ke-n.

n : Banyak data.

e. Menghitung curah hujan rencana (Xt), dengan rumus:

$$Xt = X_{rata\text{-}rata} + \frac{\partial}{\partial n}(Yt - Yn_{rata\text{-}rata})$$

Dimana, Xt : Curah hujan rencana (mm/hari)

X : Curah hujan (mm/hari)

∂ : Standar deviasi.

∂n : Koreksi rata-rata.

Yt : Koreksi variasi.

Yn: Koreksi data.

::repository.unisba.ac.id::

3.4.3 Laju Erosi Lahan

Laju erosi lahan merupakan perkiraan besarnya erosi yang akan terjadi pada suatu lahan, apabila pengelolaan lahan tidak dilakukan dengan tepat. laju erosi lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Indeks erosivitas hujan (R), merupakan nilai indeks yang merepresentasikan hubungan erosi dengan curah hujan. Perhitungan nilai R didasarkan pada sifat hujan yang mempunyai korelasi tinggi dengan erosi, dikarenakan energi kinetik yang muncul saat hujan jatuh dan bertumbukan dengan tanah. Perhitungan nilai R dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

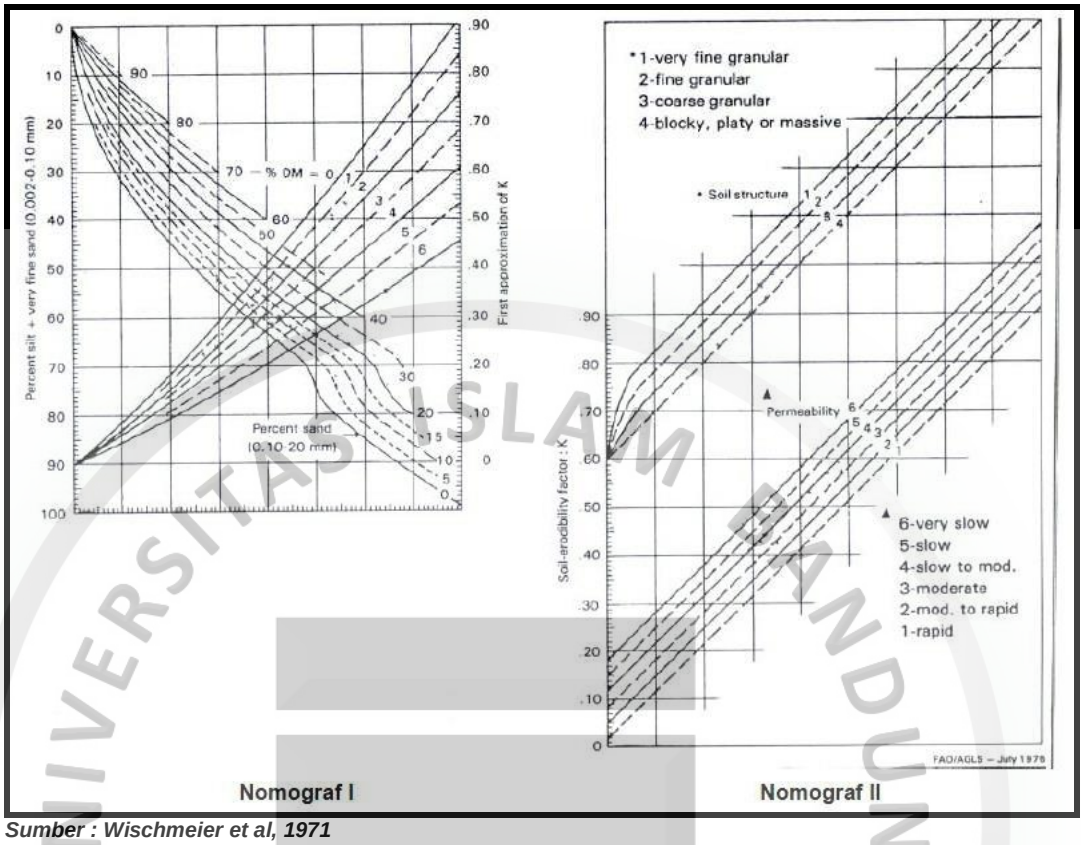
   $RM = 2{,}21.(Rain)_m^{1,36}$

   Dimana, RM : Erosivitas hujan bulanan (kJ/Ha/bulan)

   $(Rain)_m$: Curah hujan bulanan (cm)

2. Indeks erodibilitas tanah (K), merupakan nilai indeks yang menyatakan besarnya erosi per unit indeks erosivitas erosi (R) yang diukur pada petak standar (panjang 22 m, lereng 9%) dan tanahnya terus menerus bera serta diolah. Pengukuran nilai K secara langsung membutuhkan biaya yang sangat besar, sehingga digunakan grafik Nomograf (Wischmeier et al, 1971) seperti pada Gambar 3.2.

::repository.unisba.ac.id::



Sumber : Wischmeier et al, 1971

Gambar 3.2
Grafik Nomograf

3. Indeks panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S), merupakan indeks yang menggambarkan pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap laju erosi. Faktor kemiringan lereng (Arsyad, 2010) didefinisikan sebagai berikut:
   a. Faktor panjang lereng (L) adalah rasio antara besarnya erosi dari tanah dengan suatu panjang lereng tertentu terhadap besarnya erosi dari tanah dengan suatu panjang lereng 22,1 meter dengan keadaan lain yang identik.
   b. Faktor kemiringan lereng (S) adalah rasio antara besarnya erosi dari tanah dengan suatu panjang lereng tertentu terhadap besarnya erosi dari tanah dengan kemiringan lereng 9% dengan keadaan lain yang identik.

   Adapun hubungan kelas kemiringan dan nilai LS dapat dilihat pada Tabel 3.6.

::repository.unisba.ac.id::

Tabel 3.6
Hubungan Kemiringan Lereng dan Nilai LS

Kemiringan Lereng (%)	Nilai LS
0 – 8	0,25
8 – 15	1,20
15 – 25	4,25
25 – 45	9,50
> 45	12,00

Sumber : Arsyad, 2010

4. Indeks penutupan vegetasi (C), atau yang juga dikenal sebagai faktor tutupan lahan adalah nilai indeks yang menyatakan rasio antara besarnya erosi dari tanah dngan suatu panjang lereng tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tanah penutup sama sekali dengan keadaan lain yang identik (Arsyad, 2010). Nilai C menyatakan secara keseluruhan pengaruh dari vegetasi, serasah, kondisi permukaan tanah dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Adapun nilai C dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7
Faktor Jenis Tanaman (C)

Klasifikasi Tutupan Lahan	Sub-Klas Tutupan Lahan	Nilai C
Tubuh air	Tubuh Air	0,0004
Pemukiman	Pemukiman	0,01
Bandara/Pelabuhan		
Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan	0,1
Hutan Tanaman		
Semak Belukar		
Pertanian Lahan Kering	Pertanian	0,1
Pertanian Lahan Kering Campuran		
Perkebunan		
Rawa	Lahan Basah	0,1
Sawah		
Lahan Terbuka	Lahan Terbuka	0,16
Pertambangan	Lahan Terbuka	0,5

Sumber : Arsyad, 2010

::repository.unisba.ac.id::

5. Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah (P), merupakan rasio tanah ter-erosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah ter-erosi rata-rata dari lahan yang diolah tanda tindakan konservasi. Nilai P memiliki korelasi dengan teknik konservasi lahan (Arsyad, 2010) seperti pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8
Faktor Pengendali Erosi (P)

No	Teknik Konservasi	Nilai P
1	Teras bangku	
	a) Baik	0,20
	b) Jelek	0,35
2	Teras bangku : jagung-ubi kayu/kedelai	0,06
3	Teras bangku : sorghum- sorghum	0,02
4	Teras tradisional	0,40
5	Teras gulud : padi-jagung	0,01
6	Teras gulud : ketela pohon	0,06
7	Teras gulud : jagung-kacang + mulsa sisa tanam	0,01
8	Teras gulud : kacang kedelai	0,11
9	Tanaman dalam kontur	
	a) Kemiringan 0-8%	0,50
	b) Kemiringan 9-20%	0,75
	c) Kemiringan >20%	0,90
10	Tanaman dalam jalur-jalur : jagung-kacang tanah + mulsa	
11	Mulsa limbah jerami	
	a) 6 ton/ha/tahun	0,30
	b) 3 ton/ha/tahun	0,50
	c) 1 ton/ha/tahun	0,80
12	Tanaman perkebunan	
	a) Disertai penutup tanah rapat	0,10
	b) Disertai penutup tanah sedang	0,50
13	Padang rumput:	
	a) Baik	0,04
	b) Jelek	0,40

Sumber : Arsyad, 2010

Laju erosi lahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Universal Soil Loss Equation* atau USLE (Wischmeier & Smith, 1978), sebagai berikut:

A = R x K x L x S x C x P

Dimana, A : Laju erosi tanah (ton/ha/th)

::repository.unisba.ac.id::

R : Indeks erosivitas hujan

K : Indeks erodibilitas tanah

L : Indeks panjang lereng

S : Indeks kemiringan lereng

C : Indeks penutupan vegetasi

P : Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah

3.4.4 Analisis Sedimen

Sedimentasi merupakan proses pengendapan butir-butir tanah (partikel padatan) yang telah dihanyutkan oleh air dan terperangkap pada tempat-tempat yang lebih rendah seperti sungai atau waduk. Besarnya volume partikel yang terendapkan dapat ditentukan melalui analisis sedimen. Analisis sedimen dapat dilakukan melalui pendekatan nisbah pengantar sedimen atau *sediment delivery ratio* (SDR).

SDR adalah perbandingan antara sedimen yang dihasilkan dengan erosi lahan. Besarnya SDR dapat ditentukan menggunakan tabel hubungan luas lahan (*catchment area*) atau daerah aliran sungai atau DAS (Asdak,2002) seperti pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9
Hubungan Luas Lahan dengan SDR

Luas DAS (X)		SDR (Y)
Km^2	Ha	
0,10	10	0,520
0,50	50	0,390
1,00	100	0,350
5,00	500	0,250
10,00	1000	0,220
50,00	5000	0,153

Sumber : Asdak 2002

Berdasarkan nilai SDR dapat dihitung dugaan muatan erosi atau erosi potensial dengan rumusan:

::repository.unisba.ac.id::

MS = E x SDR

Dimana, MS : Sedimen potensial (ton/tahun)

E : Erosi aktual (ton/tahun)

SDR : Nisbah pengantar sedimen

Erosi aktual dapat dihitung dengan dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

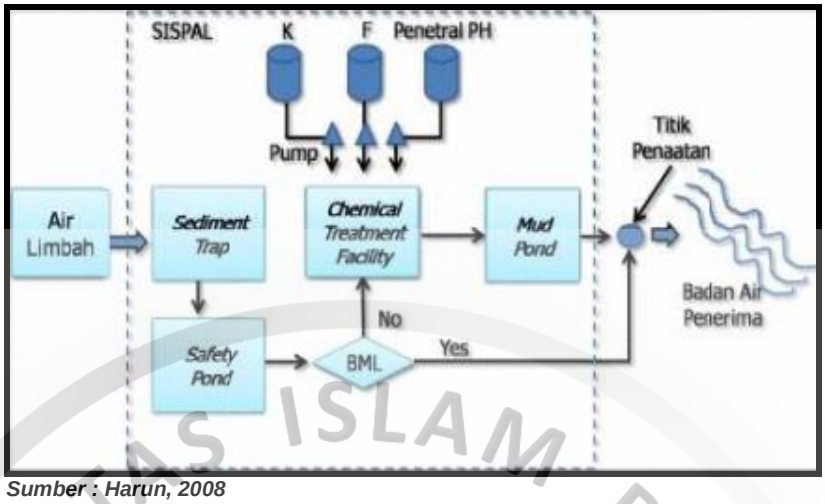
E = A x Luas Lahan

3.4.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) adalah sistem yang dibangun untuk mengelola air limbah agar sesuai dengan baku mutu lingkungan sebelum dikembalikan ke badan air penerima. Untuk menghasilkan suatu IPAL yang baik, banyak aspek yang perlu di diperhatikan sejak perencanaan, kontruksi, operasional dan perawatan serta sumber daya manusia.

Pengolahan air limbah tambang terbuka dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi secara terpadu. IPAL dalam praktik kegiatan pertambangan berupa pembuatan sumuran, kolam sedimen (*sediment pond*) ataupun kolam pengendapan (*settling pond*) yang terdiri dari beberapa kompartemen. Masing-masing kompartemen meiliki fungsi pengelolaan yang berbeda baik secara fisika maupun kimia, seperti *sediment pond, safety pond, chemical treatment facility,* dan *mud pond*. Secara skematis, bagan alir IPAL yang umum dapat dilihat pada Gambar 3.3.

::repository.unisba.ac.id::



Sumber : Harun, 2008

Gambar 3.3
Bagan Alir Instalasi Pengolahan Air Limbah

Secara singkat pengolahan air limbah tambang terbuka pada IPAL (Harun, 2008) dilakukan sebagai berikut:

1. Air limbah mengalir masuk ke IPAL melalui sistem drainase ke kolam penangkap sedimen (*sediment trap*), untuk mengendapkan berbagai material berat yang terbawa secara gravitasi (pengolahan secara fisika). Efektivitas penangkap sedimen tergantung pada kondisi dan frekwensi *maintenance*. Jumlah material berat tergantung dari kondisi *wastedump* atau areal terbuka lainnya.
2. Dari penangkap sedimen, air dialirkan menuju kolam pengaman (*safety pond*) yang berfungsi untuk mengumpulkan atau menahan sementara air limbahsebelum dilakukan pengolahan secara kimia pada *chemical treatment facility* (CTF). Oleh karena itu air limbah yang masuk harus dikendalikan atau ditahan sehingga CTF mempunyai waktu cukup untuk mengendapkan partikel padat dari hasil reaksi kogaulasi-flokulasi bahan kimia.
3. Jika diperlukan pengolahan secara kimia, dari kolam pengaman air limbah dialirkan menuju CTF untuk dilakukan pencampuran bahan kimia koagulan-flokulan dan/atau asam-basa sesuai dengan dosis yang dibutuhkan.

::repository.unisba.ac.id::

4. Injeksi asam basa berupa kapur ($CaCO_3$) dilakukan dengan membuat area pencampuran air dan kapur berupa kanal yang terletak diantara saluran kolam pengendapan. Dalam penerapannya, bubuk kapur dilarutkan dengan air terlebih dahulu untuk memperoleh larutan kapur ($Ca(OH)_2$) yang lebih efektif dalam menetralkan air limbah. Larutan kapur kemudian diinjeksikan ke dalam air limbah dengan menggunakan pompa. Letak titik injeksi kapur bergantung pada kualitas air yang harus dinetralkan. Umumnya injeksi larutan kapur hanya dilakukan pada kolam tengah menuju kolam akhir. Akan tetapi untuk kasus air limbah dengan pH sangat rendah, injeksi larutan kapur harus dilakukan di beberapa titik.

   Pertimbangan kandungan logam terlarut di dalam air baik jenis maupun jumlahnya juga diperlukan dalam penentuan jumlah dan letak titik injeksi larutan kapur, dikarenakan masing-masing logam dapat terendapkan pada kondisi pH yang berbeda-beda. Umumnya pH yang dibutuhkan untuk mengendapkan sebagian besar logam dalam air berkisar antara 6-9. Akan tetapi beberapa kasus membutuhkan pH yang berbeda seperti feri hidroksida yang mengendap pada pH 3,5 atau alumunium hidroksida yang mengendap pada pH 4,5 dan lain-lain. Titik injeksi harus diletakkan pada *inlet* area kolam yang membutuhkan penyesuaian pH sesuai dengan fungsi kolam tersebut.

   Menurut Nusa Said Idaman (2014), injeksi larutan kapur dapat dilakukan secara manual atau otomatis. Injeksi manual dilakukan dengan memompakan larutan kapur ke dalam air limbah secara kontinyu. Permasalahan dalam pengolahan air limbah adalah fluktuasi pH, debit air, dan juga konsentrasi logam berat, menyebabkan hasil pengolahan air yang juga fluktuatif dengan menggunakan sistem injeksi manual sehingga terjadi pemborosan kebutuhan kapur. Adapun instalasi injeksi manual dapat dilihat pada Gambar 3.4.

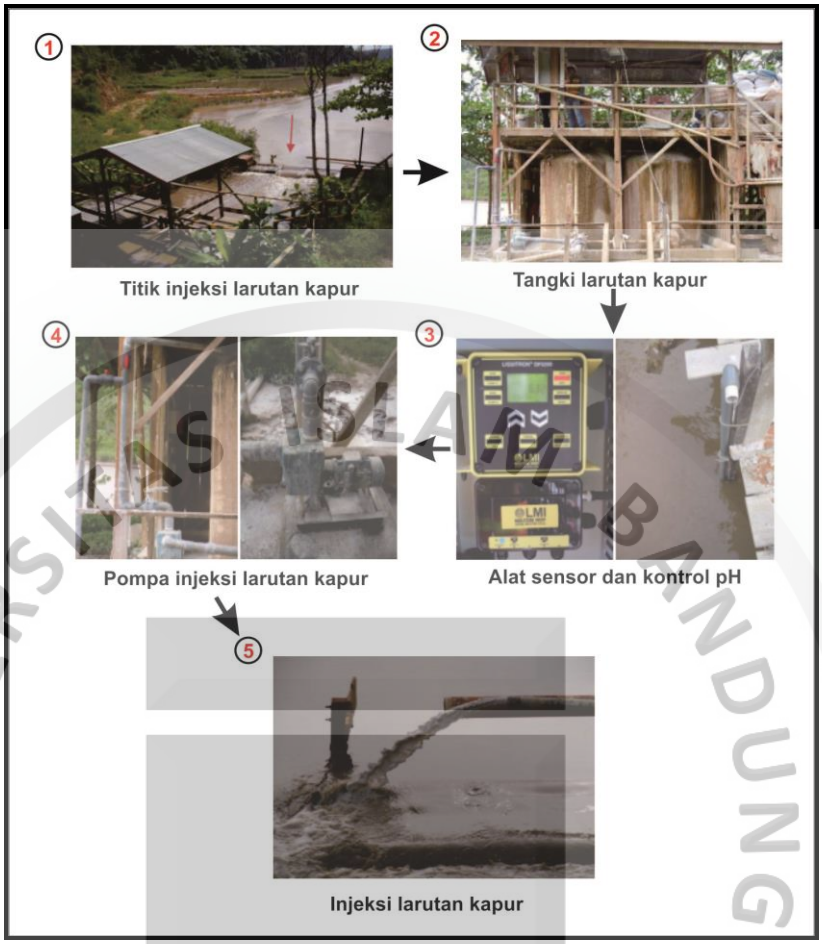
::repository.unisba.ac.id::

Sumber : Nusa Idaman Said, 2014

Gambar 3.4
Instalasi Injeksi Kapur Secara Manual

Untuk mengatasi masalah fluktuasi tersebut dan menjaga pH air lebih stabil dan konsisten, maka dikembangkan sistem injeksi otomatis. Dalam sistem injeksi otomatis, larutan kapur ditempatkan dalam tangki penampungan yang dihubungkan dengan sensor pH yang ditempatkan pada *inlet* kanal. Sensor pH dihubungkan pada pH *controller* yang dapat diatur pada angka pH tertentu. pH *controller* dihubungkan dengan pompa injeksi kapur. Apabila pH air yang dideteksi sensor pH lebih rendah dari angka pH yang diatur pada pH *controller*, pompa injeksi kapur akan secara otomatis bekerja dengan menginjeksikan larutan kapur. Apabila pH air telah sesuai dengan pH yang diatur, maka pompa injeksi secara otomatis akan berhenti. Dengan demikian, pH air dapat dikontrol dengan baik dan efektif dan juga pemborosan kapur dapat dihindari. Adapun instalasi injeksi otomatis dapat dilihat pada Gambar 3.5.

::repository.unisba.ac.id::



Sumber : Nusa Idaman Said, 2014

Gambar 3.5
Instalasi Injeksi Kapur Secara Otomatis

5. Setelah waktu tertentu proses pencampuran secara mekanis dan hidrolis maka akan terbentuk flok-flok besar yang stabil. Kecepatan pembentukan flok tergantung pada jenis koagulan dan flokulan yang dipakai, semakin cepat proses, stabil dengan dosis yang kecil maka semakin baik pula kualitas flokulan tersebut.
6. Setelah pengolahan secara kimia, air limbah dialirkan menuju kolam *mud pond* untuk menampung flok/lumpur yang terbentuk. Flok akan jatuh pada bagian bawah kolam, sedangkan air limbah yang telah bersih akan mengalir pada bagian atas kolam. Sistem pintu *outlet* dipersiapkan dengan sistem *overflow*.

::repository.unisba.ac.id::

7. Pemantauan kulaitas air limbah dilakukan secara regular pada titik penaatan. Apabila air limbah telah memenuhi Baku Mutu Lingkungan (BML) maka air limbah dapat dibuang ke badan air penerima.
8. Untuk mendukung program konservasi sumberdaya air, manfaatkan kembali air limbah yang telah diolah sesuai keperluan dengan memperhatikan aspek estetika, kesehatan, ekonomi dan lingkungan hidup.

Dalam pemodelan IPAL, beberapa aspek yang perlu diperhitungkan adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan pengedapan partikel (V). Pengendapan partikel diskret yang dapat mengendap bebas secara individual tanpa membutuhkan interaksi antar partikel. Kecepatan pengendapan dihitung sesuai dengan ukuran diameter sedimen dalam air. Pengendapan partikel diskret untuk aliran laminer dapat dihitung menggunakan persamaan Hukum Stokes sebagai berikut:

$$Vt = \frac{g \times D \times (\rho_s - \rho_\alpha)}{18\mu}$$

Dimana, Vt : Kecepatan pengendapan partikel (m/det)

g : Percepatan gravitasi (m/det^2)

D : Diameter partikel padatan (m)

ρ_s : Berat jenis partikel padatan (kg/m^2)

ρ_α : Berat jenis air (kg/m^2)

μ : Kekentalan dinamik air (kg/m.det)

Penentuan kecepatan pengedapan partikel juga dapat dilakukan melalui pendekatan klasifikasi butiran partikel yang ada di dalam air. Adapun hubungan antara kecepatan pengendapan dan klasifikasi butiran partikel dapat dilihat pada Tabel 3.10.

::repository.unisba.ac.id::

Tabel 3.10
Hubungan Ukuran Butir dan Kecepatan Pengendapan

Klasifikasi Ukuran Butir	Diameter Partikel (µm)	Kecepatan Pengendapan (mm/det)
Pasir sangat kasar	2000	200
Pasir kasar	1000	100
Pasir sedang	500	53
Pasir halus	250	26
Pasir sangat halus	125	11
Lanau kasar	62	2,3
Lanau sedang	31	0,66
Lanau halus	16	0,18
Lanau sangat halus	8	0,04
Lempung	4	0,011

Sumber : Harun 2008

2. Luas kolam pengendapan (A), dapat dihitung dengan rumusan berikut:

$$A = \frac{Q_{total}}{V}$$

Dimana, A : Luas kolam pengendapan (m^2)

Q_{total} : Debit total (air + padatan) (m^3/det)

Vt : Kecepetan pengendapan partikel (m/det)

3. Geometri kolam pengendapan ditentukan dengan mempertimbangkan kemampuan alat mekanis yang digunakan. Lebar (l) kolam pengendapan disesuaikan dengan jangkauan gali horizontal alat mekanis. Kedalaman (h) kolam pengendapan disesuaikan dengan jangkauan gali vertikal alat mekanis. Lebar sekat (a) antar kolam pengendapan disesuaikan dengan lebar terluar rantai alat mekanis ditambahkan 0,5 m sebagai pengaman. Panjang kolam pengendapan dapat dihitung dengan rumus:

$$p = \frac{A}{l}$$

Dimana, p : panjang kolam pengendapan (m)

A : Luas kolam pengendapan (m^2)

l : lebar kolam pengendapan (m)

::repository.unisba.ac.id::