

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 TINJAUAN PUSTAKA

##### 2.1.1 Batik

Batik adalah sehelai wastra yaitu sehelai kain yang dibuat secara tradisional dan terutama digunakan dalam matra tradisional beragam hias pola batik tertentu yang pembuatannya menggunakan teknik celup rintang dengan malam atau lilin batik sebagai bahan perintang warna. Dalam literature Internasional, teknik ini dikenal sebagai *wax-resist* (Suciati, 2001).

##### 2.1.1.1 Proses Pembuatan Batik

Semula batik dibuat di atas bahan dengan warna putih yang terbuat dari kapas yang dinamakan kain mori. Dewasa ini batik juga dibuat di atas bahan lain seperti sutera, poliester, rayon dan bahan sintetis lainnya. Motif batik dibentuk dengan cairan lilin dengan menggunakan alat yang dinamakan canting untuk motif halus, atau kuas untuk motif berukuran besar, sehingga cairan lilin meresap ke dalam serat kain. Kain yang telah dilukis dengan lilin kemudian dicelup dengan warna yang diinginkan, biasanya dimulai dari warna-warna muda. Pencelupan kemudian dilakukan untuk motif lain dengan warna lebih tua atau gelap. Setelah beberapa kali proses pewarnaan, kain yang telah dibatik dicelupkan ke dalam bahan kimia untuk melarutkan lilin (Nurainun dkk, 2008).

##### 2.1.1.2 Limbah Industri Batik

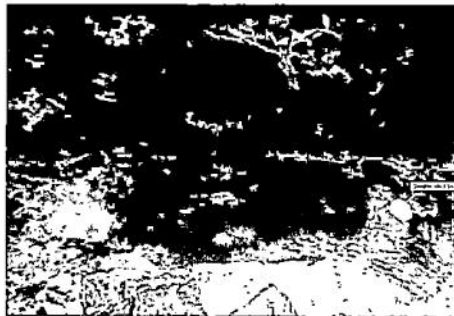
Industri batik merupakan industri yang sangat potensial untuk dikembangkan. Berawal dari metode sederhana, yaitu menggambar dengan canting dan mencelupkan dalam pewarna, batik cap dengan cara dicap pada cetakan sampai produksi massal dengan mesin modern. Dalam pembuatan batik, dari proses awal hingga proses penyempurnaan diindikasikan menggunakan bahan kimia yang mengandung unsur logam berat, sehingga bahan buangnya juga

masih mengandung unsur logam berat tersebut. Apabila bahan buangan tersebut tidak diolah dengan baik, maka bahan buangan tersebut dapat mencemari lingkungan (Sasongko dan Tresna, 2010).

Industri batik merupakan industri penghasil limbah cair yang sangat besar dan kompleks karena proses produksinya menghasilkan bermacam-macam air limbah. Air limbah pada industri batik dapat dengan mudah dikenal karena warnanya yang berasal dari bahan pewarna yang digunakan pada proses pembuatan batik. Cemaran warnanya bervariasi baik jenis dan jumlahnya sesuai dengan kapasitas produksinya. Zat warna yang paling banyak digunakan adalah:

- a. Zat warna moni-azon asam turunan *benzonaphthalene*.
- b. Zat warna mono-azo asam turunan *azonaphthalene*.
- c. Zat warna langsung.
- d. Zat warna reaktif.

Sedangkan deterjen yang banyak digunakan untuk pencucian meliputi deterjen kationik dan nonionik. Perubahan penggunaan kanji dengan *polyvinil alkohol* (PVA) semakin menambah berat badan air limbah yang ada (Nurdalia, 2006).



Gambar 2.1 Limbah cair industri batik  
(Lokasi Pijenan, Srandakan, Bantul)

### 2.1.2 Penetralisir Logam Berat pada Limbah Cair Batik

Menurut Widodo, dkk (2012) logam berat *Chromium* (Cr), *Cadmium* (Cd), *Timbal* (Pb), serta warna yang pekat, dan bau yang tidak sedap pada limbah cair batik dapat dinetralisir menggunakan arang aktif dari bahan limbah kayu Jati mesh 40 dan mesh 60 dengan cara mencampur arang aktif dan limbah cair batik

pada variasi komposisi campuran 10 gram, 15 gram, dan 20 gram arang aktif dengan 150 ml air limbah batik dan mengaduknya selama 15 menit. Dari hasil penelitian penurunan kadar logam berat dan warna yang pekat dapat diturunkan dengan signifikan, namun ada beberapa kendala seperti variasi waktu pengadukan yang tidak terlalu mempengaruhi tingkat adsorpsi logam berat sehingga dirasa perlu dilakukan penelitian untuk pengadsorbsian limbah batik dan arang aktif dengan metode kontinu.

### **2.1.3 Arang Aktif dari Kayu Jati Sebagai Penyerap Limbah Cair B3**

Sudarja dan Caroko (2012) meneliti efektifitas penyerapan polutan logam berat pada limbah cair batik dengan menggunakan arang aktif dari bahan limbah industri kayu Jati mesh 80. Dari hasil penelitian didapati bahwa arang aktif tidak memenuhi syarat kualitas arang aktif menurut SNI 06-3730-1995, namun arang aktif mampu menurunkan kadar Cr sebesar 79,28%, Pb sebesar 95,08%, Cd sebesar 99,3% dan perubahan warna sebesar 99,98% dalam limbah cair batik. Selain itu disimpulkan juga bahwa semakin berat arang aktif dalam proses adsorpsi limbah cair batik dan semakin lama pengadukan tidak mempengaruhi penyerapan kadar Pb dan Cd secara signifikan.

### **2.1.4 Zeolit Alam untuk Pereduksi Limbah Cair B3**

Kismolo (2012) melakukan uji karakterisasi kapasitas tukar kation Zeolit untuk pengolahan limbah B3 cair. Zeolit alam sangat cocok digunakan untuk sorben/penyerap logam berbahaya dalam limbah industri karena Zeolit sebagai sorben didukung oleh adanya kandungan senyawa alumunium silikat didalamnya yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi didalam Zeolit yang terbentuk oleh tetrahedral  $AlO_4^{5-}$  dan  $SiO_4^{4-}$  dengan rongga di dalamnya terisi ion-ion logam biasanya alkali tanah (Na, K, Mg, Ca dan Fe) dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Untuk mempermudah proses pertukaran kation-kation Zeolit dibuat homogen terlebih dahulu dengan cara diaktifasi dengan cara fisika dan kimia. Proses pengaktifan fisika dengan cara pemanasan Zeolit pada suhu  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  adalah

proses yang memberikan nilai KTK yang paling baik, sedang pengaktifan secara kimia yaitu penggunaan larutan  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  0,1M merupakan aktifan terbaik.

### 2.1.5 Teknologi Penetralsir Limbah Cair B3

Pada umumnya pengolahan limbah cair B3 ada beragam, menurut Purnomo dan Sasmito (2010) pengolahan limbah B3 pada prinsipnya adalah menetralsir sifat-sifat berbahaya komponen limbah; merubah kedalam bentuk/wujud yang lebih aman; mengisolasi secara fisika/kimia potensi bahaya limbah tersebut. Tujuan itu dapat dicapai melalui metode pengolahan secara kimia, fisika maupun biokimia ataupun kombinasi dari ketiga metode tersebut. Pengolahan limbah kimia meliputi netralisasi, pengendapan, flokulasim oksidasi-reduksi elektrolisis, ekstrasi, dan penukar ion. Pengolahan limbah B3 secara biologi menggunakan mikroorganisme (bakteri, jamur) untuk menguraikan senyawa bahan beracun/berbahaya menjadi molekul sederhana yang aman. Pengolahan biologi merupakan proses mineralisasi sekaligus detoksifikasi, ada 2 macam proses biologi yaitu: aerobik dan anaerobik. Pengolahan limbah B3 secara fisika didasarkan pada sifat kimia fisika material limbah seperti: keadaan material, kelarutan dalam air dan dalam pelarut organik, densitas, volatilitas, titik didih, titik leleh. Proses pengolahan fisika meliputi: pemisahan fase, sedimentasi, filtrasi, pemisahan dengan membran (*reverse osmosis*, hiperfiltrasi, ultrafiltrasi), sorpsi (dengan karbon aktif atau resin), pengeringan, destilasi, evaporasi, ekstrasi, dan *stripping*.

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Jati

Jati adalah sejenis pohon penghasil kayu bermutu tinggi. Pohon besar, berbatang lurus, dapat tumbuh mencapai tinggi 30- 40 m. Berdaun besar, yang luruh di musim kemarau. Jati dikenal dunia dengan nama *teak* (bahasa Inggris). Nama ini berasal dari kata *thecku* dalam bahasa Malayalam, bahasa di negara bagian Kerala di India selatan. Nama ilmiah Jati adalah *Tectona grandis* L.f.

Jati menyebar luas mulai dari India, Myanmar, Laos, Kamboja, Thailand, Indocina, sampai ke Jawa. Jati tumbuh di hutan-hutan gugur, yang menggugurkan daun di musim kemarau. Di Indonesia sendiri, selain di Jawa dan Muna, jati juga dikembangkan di Bali dan Nusa Tenggara. Jati tidak tumbuh baik di sebagian wilayah Pulau Sumatera dan Kalimantan, dikarenakan tanah di kedua tempat sangat asam. Jati sendiri adalah jenis tanaman yang membutuhkan zat kalsium dalam jumlah besar, juga zat fosfor. Selain itu, Jati membutuhkan cahaya matahari yang berlimpah (<http://id.wikipedia.org/wiki/Jati>, diakses pada 02/02/2014).

### 2.2.2 Pemanfaatan Limbah Industri Kayu Jati

Industri pengolahan kayu Jati salah satunya adalah perusahaan mebel kayu Jati. Limbah dari industri ini diantaranya adalah tatal kayu Jati (berupa balok-balok kecil), serbuk gergaji kayu Jati, kulit kayu Jati. Selama ini pemanfaatan limbah industri mebel kayu Jati belum tepat dan kurang maksimal, limbah kayu Jati yang berupa tatal kayu dimanfaatkan untuk kayu bakar oleh masyarakat pada umumnya, sedangkan limbah yang berupa serbuk gergaji kayu Jati pemanfaatannya kurang optimal. Sehingga pemanfaatan limbah kayu Jati ini perlu adanya peningkatan sehingga dapat menambah nilai ekonominya. Salah satu cara pemanfaatannya supaya menambah nilai ekonominya adalah digunakan untuk bahan baku pembuatan arang aktif sebagai *absorben* polutan limbah cair.

Karbon yang terkandung dalam kayu Jati menurut Basuki, dkk (2008) bahwa hubungan antara berat kering total dengan diameter kayu Jati mempunyai keeratan tinggi. Hal tersebut yang mempengaruhi nilai atau kandungan karbon pada kayu Jati. Kandungan karbon pada kayu Jati seperti tabel 2.1 Tabel pengukuran tegakan dan analisis biomassa Jati.

Tabel 2.1 Hasil pengukuran tegakan dan analisis biomassa Jati (*T. Gramdis*) pada berbagai umur tegakan

No.	Umur ( <i>Age</i> ) (Tahun/ <i>Year</i> )	Diameter ( <i>Diameter</i> ) (cm)	Berat kering total/pohon ( <i>Total</i> <i>dry weight/tree</i> )	Karbon/pohon ( <i>Carbon/tree</i> ) (kg)	%karbon (% <i>carbon</i> )
1	9	11,6	85,86	48,04	55,95
2	19	18,6	125,04	72,51	57,99
3	40	39,52	810,87	390,35	48,14
4	71	48	1709,17	957,48	56,02

Keterangan (*Remark*): % karbon = jumlah biomassa dalam persen (%  
*carbon = percentage of carbon content in biomass*)  
Sumber: (Basuki, dkk. 2008)



Gambar 2.2 Potongan limbah kayu Jati  
(Lokasi Mebel Jati Jati Agung, Bantul, Yogyakarta)

### 2.2.3 Pengertian Arang dan Arang Aktif

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi (Sembiring dan Sinaga, 2003). Arang yang merupakan residu dari peruraian bahan yang mengandung karbon sebagian besar komponennya adalah karbon dan terjadi akibat peruraian

panas. Proses pemanasan ini dapat dilakukan dengan jalan memanasi bahan langsung atau tidak langsung di dalam timbunan, kiln, retort dan tanur (Widodo, 2012 dalam Rumidatul, 2006).

Sedangkan pengertian arang aktif adalah suatu bentuk karbon yang mempunyai sifat *absorptive* terhadap larutan ataupun uap sehingga bahan tersebut dapat berfungsi sebagai penjernihan larutan, penghisap gas/racun dan penghilang warna. Arang aktif telah digunakan secara luas di dalam industri kimia, makanan, dan farmasi seperti untuk pembuatan minyak makan, obat sakit perut, penjernihan air minum, pembuatan gula pasir, masker dan lain-lain (Sudrajat, 1985).

Arang aktif adalah arang yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain, serta pori dibersihkan dari senyawa lain sehingga permukaan dan pusat aktif menjadi luas akibatnya daya adsorpsi terhadap cairan atau gas akan meningkat. Sesuai penggunaannya, arang aktif digolongkan ke dalam produk kimia dan bukan bahan energi seperti arang atau briket arang. Teknologi olah lanjut arang menjadi arang aktif akan memberikan nilai tambah yang besar ditinjau dari penggunaan dan nilai ekonomisnya (Hendra, 2006).

#### 2.2.4 Pengertian Zeolit

Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang pertama kali ditemukan Tahun 1756 oleh mineralogist dari Swedia bernama Baron Axel Cronstedt dan telah dipelajari oleh mineralogist selama lebih dari 200 tahun. Zeolit merupakan kristalin aluminasilikat dengan kerangka anionik kaku, terdiri dari kanal dan rongga. Rongganya berisi kation logam yang dapat dipertukarkan, seperti :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan lain-lain, dan dapat mengikat molekul air. Nama Zeolit berasal dari munculnya gelembung bila dididihkan, dalam Bahasa Greek disebut “zeo”, batuan disebut “lithos”. Rumus umum Zeolit adalah:  $M_{x/n}[(\text{SiO}_2)_y (\text{AlO}_2)_x] \cdot m\text{H}_2\text{O}$ , dimana kation M dengan valensi n menetralkan muatan negatif pada kerangka aluminasilikat (Trisunaryati, 2009).



Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Pada kerangka Zeolit, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah dipertukarkan yang akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat thermal Zeolit (Ozkan dan Ulku, 2008). Selain jenis kation, kemampuan adsorpsi Zeolit juga dipengaruhi oleh perbandingan Si/ Al dan geometri pori-pori Zeolit, termasuk luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori dan bentuk pori (Apriyanti, 2009 dalam Gruszkiewicz dkk, 2005).



Gambar 2.3 Batu Zeolit

(Sumber <http://walaharkita.blogspot.com/2011/04/kompos-berkualitas-dengan-zeolit.html>, diakses pada 07/02/2014)

### 2.2.5 Penggunaan Zeolit Sebagai Katalis

Dibidang pelestarian lingkungan, Zeolit telah banyak diteliti untuk digunakan sebagai adsorben logam-logam berat (Hg, V, Pb), zat warna (limbah textil), dan limbah beracun buangan dari berbagai macam industri (Trisunaryati, 2009). Zeolit adalah mineral dengan struktur kristal alumino silikat yang berbentuk *framework* (struktur tiga dimensi), dan mempunyai rongga serta saluran yang diisi oleh kation logam alkali dan atau alkali tanah serta molekul air. Ion logam dan molekul air dapat digantikan oleh ion atau molekul lain secara reversible tanpa merusak struktur Zeolit, sehingga Zeolit dapat digunakan untuk



menyerap ion logam. Lebih jauh lagi Zeolit jenis modernit, Zeolit ini dapat digunakan untuk menyerap Kromium (Cr) dan Nikel (Ni) dalam air limbah (Hendrawan, dkk 2011 dalam Handayani dan Yuhelda, 2009). Zeolit alam penukar ion yang sangat baik untuk menghilangkan dan pemulihan kation logam berat (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn dan Fe, Pb, Cu setinggi 97%) dari minum dan limbah air. Amonia merupakan isu utama untuk pengobatan air limbah kota. Mineral yang luar biasa ini memiliki kapasitas besar untuk menyerap amonia. kadar Amoniak dalam air limbah perkotaan dapat dikurangi menjadi 10-15 ppm setelah fasilitas pengolahan (Andika, 2008). Penelitian mengenai penggunaan Zeolit aktif sebagai material penyerap logam berat dalam limbah cair tekstil menunjukkan Zeolit dapat menyerap logam berat: Cd sebesar 84,3 mg/g, Cr (III): 26 mg/g, Hg: 150,4 mg/g dan Pb sebesar 155,4 mg/g Zeolit (Sugiyana, 2003).

#### 2.2.6 Polutan

Sumber pencemar (polutan) dapat berupa suatu lokasi tertentu (*point source*) atau tak tentu/tersebar (*non-point/diffuse source*). Sumber pencemar *point source* misalnya knalpot mobil, cerobong asap pabrik dan saluran limbah industri. Pencemar yang berasal dari *point source* bersifat lokal. Efek yang ditimbulkan dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spasial kualitas air. Volume pencemar dari *point source* biasanya relatif tetap. Sedangkan sumber pencemar *non-point source* dapat berupa *point source* dalam jumlah yang banyak. Misalnya : limpasan dari daerah pertanian yang mengandung pestisida dan pupuk, limpasan dari daerah pemukiman (domestik) dan limpasan dari daerah perkotaan.

Bahan pencemar (polutan) adalah bahan-bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang berasal dari alam itu sendiri yang memasuki suatu tatanan ekosistem sehingga mengganggu peruntukan ekosistem tersebut. Berdasarkan cara masuknya ke dalam ke dalam lingkungan, polutan dikelompokkan menjadi dua, yaitu polutan alamiah dan polutan antropogenik. Polutan alamiah adalah polutan yang memasuki suatu lingkungan (misalnya badan air) secara alami, misalnya akibat letusan gunung berapi, tanah longsor, banjir dan fenomena alam yang lain. Polutan yang memasuki suatu ekosistem secara alamiah sukar dikendalikan.

Polutan antropogenik adalah polutan yang masuk ke badan air akibat aktivitas manusia, misalnya kegiatan domestik (rumah tangga), kegiatan urban (perkotaan), maupun kegiatan industri. Intensitas polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan cara mengontrol aktivitas yang menyebabkan timbulnya polutan tersebut (Rumidatul, 2006).

### **2.2.7 Limbah**

Yang dimaksud dengan limbah atau benda/zat buangan yang kotor adalah benda atau zat yang mengandung berbagai zat yang bersifat membahayakan kehidupan manusia atau hewan dan umumnya muncul karena hasil perbuatan manusia dari industrialisasi (Rumidatul, 2006).

Rumidatul (2006) menyebutkan bahwa biasanya air limbah dapat diperoleh dari berbagai sumber, antara lain:

#### **a. Air limbah rumah tangga**

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan, sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta fasilitas rekreasi. Air limbah rumah tangga dapat dibedakan atas air limbah rumah tangga dari :

- i. Daerah pemukiman penduduk.
- ii. Daerah perdagangan/pasar/tempat usaha/hotel dan lain- lain.
- iii. Daerah kelembagaan (kantor-kantor pemerintahan dan swasta).
- iv. Daerah rekreasi.

#### **b. Air limbah industri**

Jumlah aliran limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada.

#### **c. Air limbah rembesan dan tambahan**

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun secara cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran pengering atau saluran air hujan. Apabila

saluran ini tidak mampu menampungnya, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian akan merupakan tambahan yang sangat besar.

### 2.2.8 Teknologi Pengolah Limbah Cair

Teknologi pengolahan air limbah merupakan salah satu teknik untuk menurunkan tingkat pencemaran dan bahaya dari air limbah bagi lingkungan dan manusia. Terdapat beragam teknologi pengolahan air limbah yang dapat diterapkan namun perlu dipertimbangkan beberapa hal yaitu:

- Harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh pihak industri.
- Harus dapat menurunkan pencemaran dalam air limbah ke tingkat yang sesuai atau lebih rendah dari baku mutu yang ditetapkan.
- harus layak secara ekonomi dalam pembangunan (konstruksi), operasional dan pemeliharaannya.

Berbagai teknik pengolahan air limbah untuk mengurangi bahan polutan didalamnya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Pengolahan air limbah yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi 3 teknik pengolahan yaitu pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Untuk mengolah suatu jenis air limbah tertentu, ketiga teknik pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri, kombinasi dari dua teknik atau ketiganya.

#### a. Pengolahan Secara Fisika

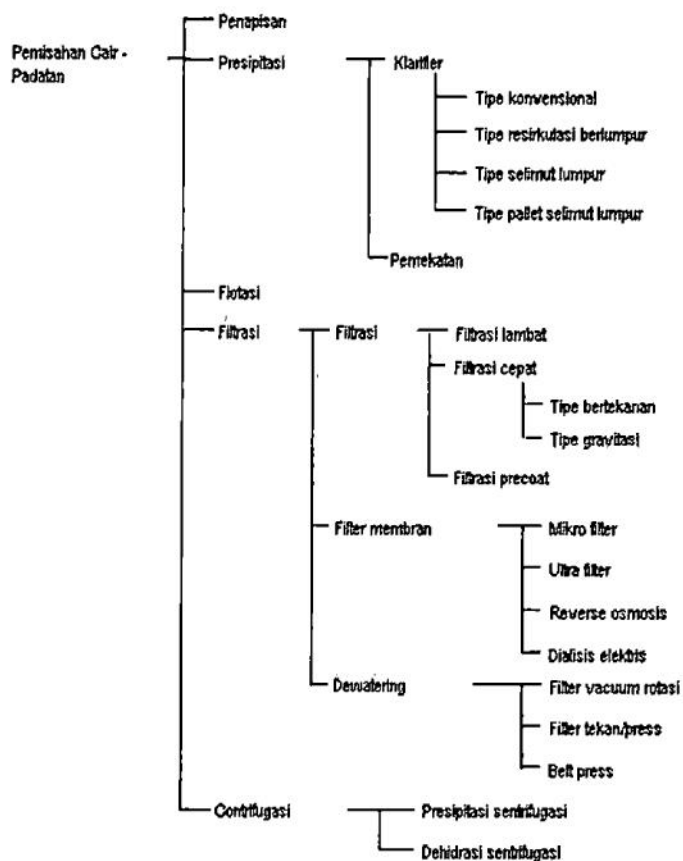
Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air limbah, bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Terdapat 5 cara untuk melakukan pemisahan bahan-bahan cemaran tersebut dalam air limbah yaitu dengan penyaringan, presipitasi, flotasi, filtrasi dan sentrifugasi.

Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Sedangkan bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses

pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisahkan bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya. Flotasi juga dapat digunakan sebagai cara penyisihan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan lumpur endapan (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*).

Proses filtrasi di dalam pengolahan air limbah, biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses reverse osmosis-nya, akan dilaksanakan untuk menyisahkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses adsorpsi atau menyumbat membran yang dipergunakan dalam proses osmosa.

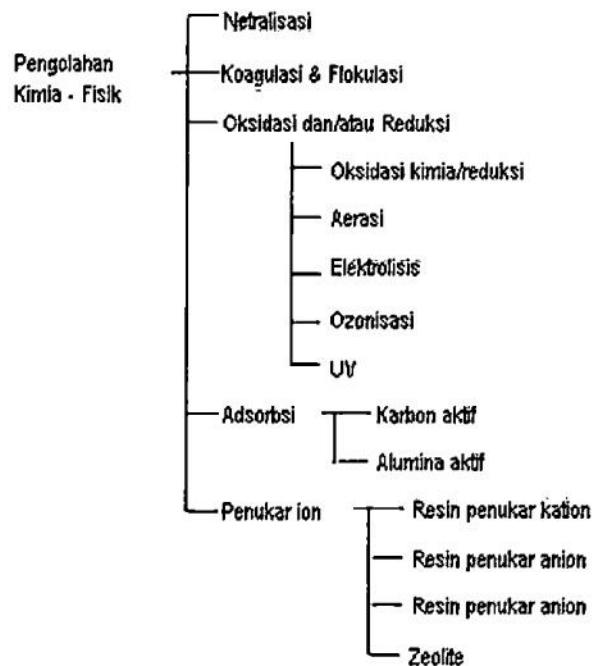


Gambar 2.4 Skema diagram pengolahan air limbah secara fisik  
(Sumber: Rachman, dkk, 2009)

Proses adsorpsi, biasanya dengan karbon aktif, dilakukan untuk menyisihkan senyawa aromatik (misalnya: fenol) dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika diinginkan untuk menggunakan kembali air limbah tersebut. Teknologi membran (reverse osmosis) biasanya diaplikasikan untuk unit-unit pengolahan kecil, terutama jika pengolahan ditunjukkan untuk menggunakan kembali air yang diolah. Biaya instalasi dan operasinya sangat mahal.

#### b. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun; dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan-bahan tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.



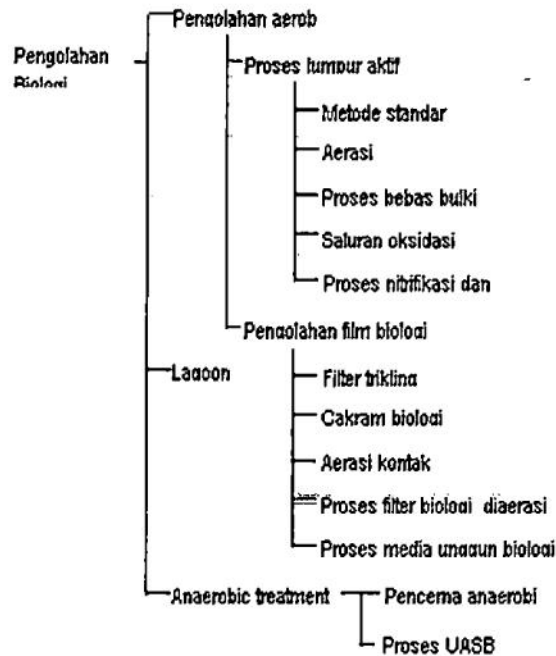
Gambar 2.5 Skema diagram pengolahan air limbah secara kimiawi  
(Sumber: Rachman, dkk, 2009)

Pengendapan bahan tersuspensi yang tak mudah larut dilakukan dengan membubuhkan elektrolit yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan muatan koloidnya agar terjadi netralisasi muatan koloid tersebut, sehingga akhirnya dapat diendapkan. Penyisihan logam berat dan senyawa fosfor dilakukan dengan membubuhkan larutan alkali (air kapur misalnya) sehingga terbentuk endapan hidroksida logam-logam tersebut atau endapan hidroksiapatit. Endapan logam tersebut akan lebih stabil jika pH air  $> 10,5$  dan untuk hidroksiapatit pada  $\text{pH} > 9,5$ . Khusus untuk krom heksavalen, sebelum diendapkan sebagai krom hidroksida  $[\text{Cr}(\text{OH})_3]$ , terlebih dahulu direduksi menjadi krom trivalent dengan membubuhkan reduktor ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{SO}_2$ , atau  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ).

Penyisihan bahan-bahan organik beracun seperti fenol dan sianida pada konsentrasi rendah dapat dilakukan dengan mengoksidasinya dengan klor ( $\text{Cl}_2$ ), kalsium permanganat, aerasi, ozon hidrogen peroksida. Pada dasarnya kita dapat memperoleh efisiensi tinggi dengan pengolahan secara kimia, akan tetapi biaya pengolahan menjadi mahal karena memerlukan bahan kimia.

#### c. Pengolahan secara biologi

Semua air limbah yang mengandung bahan organik dapat diolah secara biologi (biodegradable). Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi banyak diterapkan karena merupakan pengolahan yang murah, efisien dan lebih ramah lingkungan.



Gambar 2.6 Skema diagram pengolahan air limbah secara biologi  
(Sumber: Rachman, dkk, 2009)

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

- i. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reactor*);
- ii. Reaktor pertumbuhan lekat (*attached growth reactor*).

Di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Proses lumpur aktif yang banyak dikenal berlangsung dalam reaktor jenis ini. Proses lumpur aktif terus berkembang dengan berbagai modifikasinya, antara lain: oxidation ditch dan kontak-stabilisasi. Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, oxidation ditch mempunyai beberapa kelebihan, yaitu efisiensi penurunan BOD dapat mencapai 85%-90% (dibandingkan 80%-85%) dan lumpur yang dihasilkan lebih sedikit. Selain efisiensi yang lebih tinggi (90%-95%), kontak stabilisasi mempunyai kelebihan yang lain, yaitu waktu detensi hidrolis total lebih pendek (4-6 jam). Proses kontak-stabilisasi dapat pula menyisihkan BOD tersuspensi melalui proses absorpsi di dalam tangki kontak sehingga tidak diperlukan penyisihan BOD tersuspensi dengan pengolahan pendahuluan.



Kolam oksidasi dan lagoon, baik yang diaerasi maupun yang tidak, juga termasuk dalam jenis reaktor pertumbuhan tersuspensi. Untuk iklim tropis seperti Indonesia, waktu detensi hidrolis selama 12-18 hari di dalam kolam oksidasi maupun dalam lagoon yang tidak diaerasi, cukup untuk mencapai kualitas efluen yang dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Di dalam lagoon yang diaerasi cukup dengan waktu detensi 3-5 hari saja. Di dalam reaktor pertumbuhan lekat, mikroorganisme tumbuh di atas media pendukung dengan membentuk lapisan film untuk melekatkan dirinya. Berbagai modifikasi telah banyak dikembangkan selama ini, antara lain trickling filter, cakram biologi, filter terendam dan reaktor fludisasi . Seluruh modifikasi ini dapat menghasilkan efisiensi penurunan BOD sekitar 80%-90%. Ditinjau dari segi lingkungan dimana berlangsung proses penguraian secara biologi, proses ini dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- i. Proses aerob, yang berlangsung dengan hadirnya oksigen.
- ii. Proses anaerob, yang berlangsung tanpa adanya oksigen.

Apabila BOD air limbah tidak melebihi 400 mg/l, proses aerob masih dapat dianggap lebih ekonomis dari anaerob. Pada BOD lebih tinggi dari 4.000 mg/l, proses anaerob menjadi lebih ekonomis (Rachman, dkk, 2009).

### **2.2.9 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)**

Menurut Peraturan Pemerintah 85/1999 jo Peraturan Pemerintah 18/1999 maka, limbah kimia B3 adalah limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun karena sifatnya dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya.

Limbah B3 diidentifikasi sebagai bahan kimia dengan satu atau lebih karakteristik :

- i. Mudah meledak
- ii. Mudah terbakar
- iii. Bersifat reaktif

- iv. Beracun
- v. Penyebab infeksi
- vi. Bersifat korosif.

#### 2.2.10 Jenis-jenis Perlakuan Pengolahan Limbah Cair

Menurut Suharto (2011: 328) beberapa jenis perlakuan pengolahan limbah adalah dengan beberapa proses dibawah ini :

1. **Praperlakuan**, melibatkan perlakuan fisika dan kimia, yaitu saringan, ekualisasi, dan pemisahan minyak dan lemak, dan perlakuan proses kimia netralisasi asam atau basa limbah cair.
2. **Perlakuan primer** melibatkan perlakuan fisika untuk memindahkan padatan tersuspensi dan menurunkan nilai BOD.
3. **Perlakuan sekunder** melibatkan perlakuan biologi dan mikrobiologi untuk mengurangi konsentrasi senyawa kimia organik dalam effluent.
4. **Perlakuan tersier** melibatkan tambahan perlakuan kimia untuk memindahkan senyawa anorganik dan mikroba patogen.

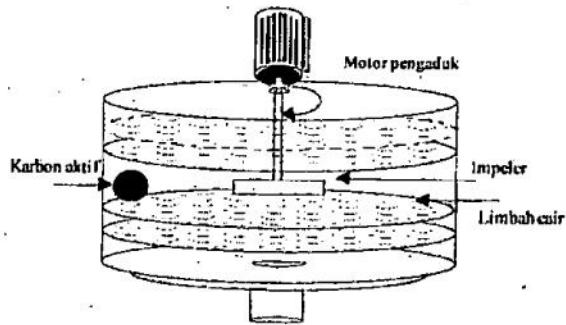
#### 1. Perlakuan Primer Limbah Cair dengan Metode Adsorpsi

Proses adsorpsi dengan menggunakan *adsorben* digunakan untuk memisahkan senyawa pencemar dalam limbah cair. Proses adsorpsi adalah kumpulan senyawa kimia di permukaan *adsorben* padat, sebaliknya absorpsi adalah penetrasi kumpulan senyawa kimia ke dalam senyawa padat. Jika kedua peristiwa terjadi simultan maka peristiwa ini disebut sorpsi. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan kontaminan. Adsorpsi fisika berkenaan dengan gaya *van der Waals* dan bolak-balik. Contoh adsorpsi fisika adalah dengan menggunakan karbon aktif. Pada gambar 2.9 ditunjukkan bahwa konsentrasi solut akan turun dari konsentrasi awal  $C_0$  sampai mencapai keseimbangan  $C_e$  sehingga berlaku hukum **Freundlich** sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = KC_c^{1/n} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

- m = massa adsorben
- X = massa solut yang diadsorpsi
- K = konstanta
- N = konstanta
- Ce = konsentrasi kesimbangan solut, massa/ volume

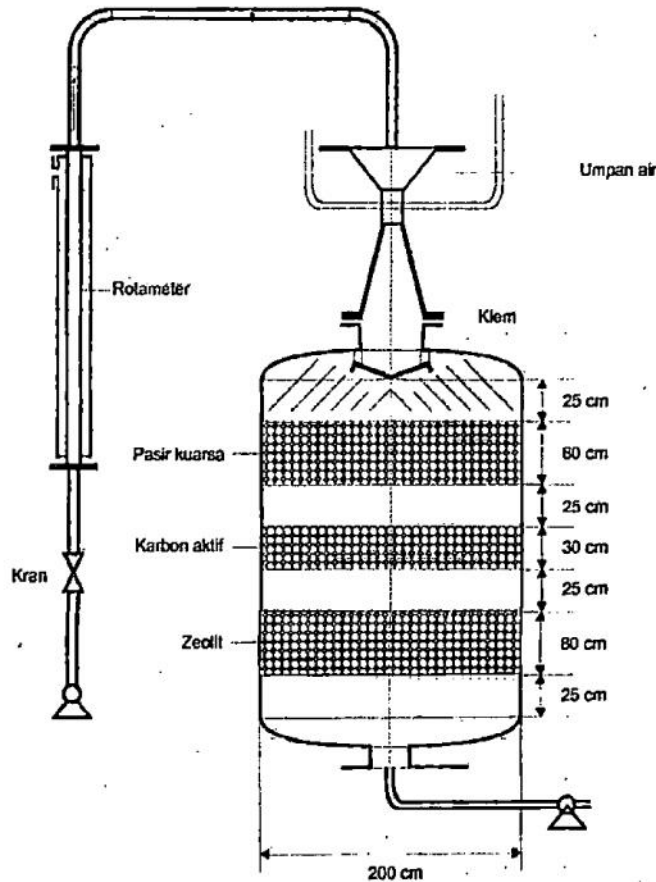


Gambar 2.7 Partikel karbon aktif dalam limbah cair  
(Sumber : Suharto, 2011 :350)

## 2. Kolom Filtrasi Metode Multimedia

Penghilangan senyawa koloid dan lendir dalam air limbah dilakukan dengan menggunakan filtrasi dengan media pasir kuarsa. Penghilangan zat warna dan bau tak sedap dalam air limbah dengan karbon aktif. Karbon aktif yang sudah digunakan untuk menghilangkan warna dan bau tak sedap dalam air diaktifkan kembali dengan menggunakan uap sehingga diperoleh karbon aktif awal. Penghilangan logam berat seperti besi, mangan, timbal, dalam air limbah dengan zeolit dan juga senyawa ammonia dalam air.

Perlakuan tersier dengan metode filtrasi multimedia pasir kuarsa, karbon aktif, dan Zeolit ditunjukkan pada gambar kolom filtrasi 2.10 sebagai berikut :



Gambar 2.8 Penghilangan bau tak sedap, senyawa koloid, zat warna dan logam berat dalam olahan limbah cair dengan saringan multimedia pasir kuarsa, karbon aktif dan Zeolit.

(Sumber : Suharto, 2011 :350)

### 2.2.11 Dampak Logam Berat bagi Manusia

Logam berat yang terkandung dalam air apabila melebihi batas minimum yang ditentukan akan berdampak tidak baik bagi kesehatan manusia. Menurut Sudarmaji dkk (2006) implikasi klinik akibat tercemar oleh logam berat seperti di bawah ini:

#### a. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh *Chromium* (Cr)

Keracunan tubuh manusia terhadap *chromium* (Cr), dapat berakibat buruk terhadap saluran pernafasan, kulit, pembuluh darah dan ginjal. Efek *chromium* (Cr) terhadap sistem saluran pernafasan (*Respiratory sistem effects*), berupa

kanker paru dan ulkus kronis/perforasi pada septum nasal. Pada kulit (*Skin effects*), berupa ulkus kronis pada permukaan kulit. Pada pembuluh darah (*Vascular effects*), berupa penebalan oleh plak pada pembuluh aorta (*Atherosclerotic aortic plaque*). Sedangkan pada ginjal (*Kidney effects*), kelainan berupa nekrosis tubulus ginjal.

b. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh *Kadmium* (Cd)

Kadmium terutama dalam bentuk oksida adalah logam yang toksisitasnya tinggi. Sebagian besar kontaminasi oleh kadmium pada manusia melalui makanan dan rokok. Waktu paruh kadmium kira-kira 10-30 tahun. Akumulasi pada ginjal dan hati 10-100 kali konsentrasi pada jaringan yang lain.

*Gejala akut dan kronis akibat keracunan Cd (Kadmium).*

*Gejala akut :*

- i. Sesak dada.
- ii. Kerongkongan kering dan dada terasa sesak (*constriction of chest*).
- iii. Nafas pendek.
- iv. Nafas terengah-engah, distress dan bisa berkembang ke arah penyakit radang paru-paru.
- v. Sakit kepala dan menggigil.
- vi. Mungkin dapat diikuti kematian.

*Gejala kronis:*

- i. Nafas pendek.
- ii. Kemampuan mencium bau menurun.
- iii. Berat badan menurun.
- iv. Gigi terasa ngilu dan berwarna kuning keemasan.

Selain menyerang pernafasan dan gigi, keracunan yang bersifat kronis menyerang juga saluran pencernaan, ginjal, hati dan tulang. Usaha manusia untuk mengetahui pengaruh kadmium terhadap kesehatan dapat menggunakan pendekatan dengan cara percobaan-percobaan terhadap binatang seperti yang diterangkan sebagai berikut:

✓ *Pengaruh Cd terhadap ginjal.*

Percobaan binatang dengan menyuntikan larutan kadmium klorida kedalam tubuh kelinci betina menunjukkan bahwa kelinci tersebut turun berat badannya. Urinanya mengandung protein melampaui batas normal dan kadang-kadang disertai keluarnya *alkaliphosphatase* dan asam *Phosphatase* sebagai tanda adanya kerusakan pada tubulus distal dari ginjal. Konsentrasi kadmium klorida sebesar antara 10,50 - 300 ppm dalam air minum tikus menyebabkan perubahan dari hampir seluruh pembuluh darah ginjal apabila diperiksa dengan mikroskop electron. Tetapi tidak ada tanda-tanda perubahan yang terlihat dalam waktu 24 minggu apabila kadar kadmium dalam air minum tersebut hanya 1 ppm.

✓ *Pengaruh Cd terhadap hipertensi.*

Kadmium sebagai penyebab hipertensi atau penyebab penyakit jantung pada manusia (*aterosclerotic heart disease*) mungkin masih diragukan, tetapi percobaan dengan binatang untuk mengetahui hubungan tersebut telah dilakukan. Binatang percobaan kelinci dibuat hipertensi dengan memberikan injeksi intra *peritoneal* kadmium asetat seminggu sekali sampai beberapa bulan lamanya. Suatu endapan kadmium terbentuk beberapa waktu kemudian dalam jaringan hati dan ginjal (batu ginjal merupakan salah satu penyebab hipertensi dan hipertensi merupakan salah satu penyebab penyakit jantung).

✓ *Pengaruh Cd terhadap kerapuhan tulang.*

Penyakit kerapuhan tulang seperti didapatkan pada penyakit *itai itai* ditemukan pula pada percobaan pada tikus jantan yang diberi diet makanan yang mengandung kadmium serta kadar protein dan kalsiumnya rendah. Berdasarkan percobaan ini orang menduga bahwa makanan yang bergizi rendah menyebabkan orang mudah terkena keracunan kadmium (*kadmium intoxication*).

c. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh Logam Berat Timbal (Pb)

Paparan bahan tercemar Pb dapat menyebabkan gangguan pada organ sebagai berikut :

❖ Gangguan *neurologi*.

Gangguan neurologi (susunan syaraf) akibat tercemar oleh Pb dapat berupa *encephalopathy*, *ataxia*, *stupor* dan *coma*. Pada anak-anak dapat menimbulkan kejang tubuh dan *neuropathy perifer*.

❖ Gangguan terhadap fungsi ginjal.

Logam berat Pb dapat menyebabkan tidak berfungsinya *tubulus renal*, *nephropati irreversible*, *sclerosis vaskuler*, *sel tubulus atropi*, *fibrosis* dan *sclerosis glumerolus*. Akibatnya dapat menimbulkan *aminoaciduria* dan glukosuria, dan jika paparannya terus berlanjut dapat terjadi nefritis kronis.

❖ Gangguan terhadap sistem syaraf.

Efek pencemaran Pb terhadap kerja otak lebih sensitif pada anak-anak dibandingkan pada orang dewasa. Paparan menahun dengan Pb dapat menyebabkan *lead encephalopathy*. Gambaran klinis yang timbul adalah rasa malas, gampang tersinggung, sakit kepala, *tremor*, halusinasi, gampang lupa, sukar konsentrasi dan menurunnya kecerdasan.

## 2.2.12 Teori Perancangan Alat Penetralisir Limbah

Dalam perancangan alat uji penetralisir limbah cair batik perencanaan meliputi:

- Pemilihan bentuk dan bahan untuk rangka utama sebagai penopang beban dari drum penampung limbah, limbah cair, sistim filtrasi/adsorpsi, dan bak penampung akhir.
- Pemilihan pompa yang digunakan untuk proses aliran limbah cair batik.
- Perhitungan instalasi perpipaan.

### 2.2.12.1 Kekuatan Rangka

Struktur rangka utama alat penetralisir limbah dalam perencanaan dipertimbangkan berdasarkan perhitungan; Tegangan sambungan las pada rangka; Tegangan tekuk (*buckling*) pada rangka; Tegangan lentur pada rangka. Berikut adalah perumusan perhitungannya :



## 1. Tegangan Sambungan Las Rangka

Pengelasan adalah nama kumpulan sejumlah besar teknologi untuk memperoleh suatu sambungan mati.

Pengelasan pada umumnya dibagi kedalam dua kelompok: pengelasan tekan dan pengelasan cair. Pada pengelasan tekan, bagian yang hendak disambung ditekan satu sama lain dalam keadaan panas tanpa dicairkan dan tanpa bahan tambahan. Pada pengelasan cair, ruangan antara bagian yang hendak disambung, yaitu kampuh, diisi demikian rupa dengan suatu bahan cair, sehingga pada waktu yang sama tepi bagian yang berbatasan mencair. Kalor yang diperlukan dapat dibangkitkan baik dengan jalan kimia maupun dengan jalan listrik (Stolk and Kros, 1993:31).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan las dan harus memenuhi syarat antara lain:

- a. Bahwa benda yang silas tersebut dapat cair atau lebur oleh panas.
- b. Bahwa antara benda-benda padat yang disambungkan tersebut terdapat kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau menggagalkan sambungan tersebut.
- c. Bahwa cara-cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan dari penyambungannya.
- d. Perhitungan kekuatan las, yaitu dengan menghitung tegangan/kekuatan tarik yang diterima sambungan las pada rangka seperti di bawah ini:

$$\sigma_t = \frac{P}{2 \cdot h \cdot l} \dots\dots\dots 2.2$$

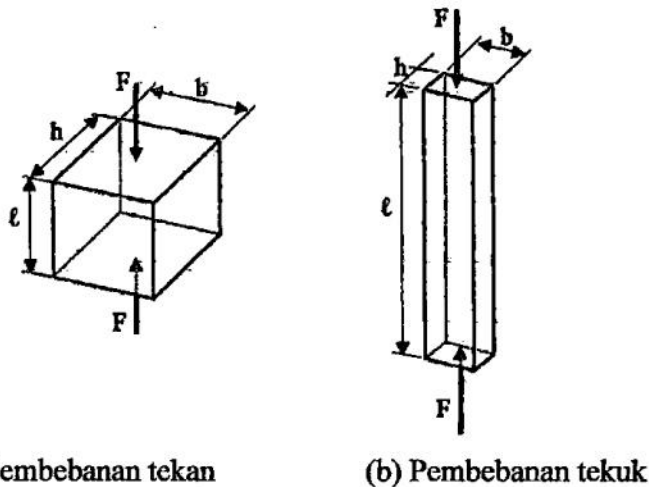
Dengan:

- $\sigma_t$  = Tegangan tarik
- P = Gaya/beban
- h = Lebar las
- l = Panjang las

## 2. Tegangan Tekuk (*buckling*) pada Rangka

### I. Terjadinya Tekukan

Tekukan terjadi apabila batang tekan memiliki panjang tertentu yang jauh lebih besar dibandingkan dengan penampang lintangnya. Pada Gambar 2.11 Pembebanan Normal Negatif di bawah ini, dua buah balok penampang lintang  $b \times h$  dengan  $b < h$ .



Gambar 2.9 Pembebanan nominal negatif

Gambar 2.11 (a) merupakan pembebanan tekan karena panjang batang  $l$ , relatif tak berbeda jauh dengan ukuran penampang lintangnya,  $b$  maupun  $h$ . Dalam pembebanan yang berlebihan, balok ini akan rusak hancur atau geser pada bidang tegangan geser maksimumnya, tergantung pada sifat-sifat bahannya. Sedangkan batang pada Gambar 2.11 (b) mengalami pembebanan tekuk karena panjang batang  $l$ , yang jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran penampang lintangnya. Pembebanan yang berlebih akan menyebabkan batang rusak tekuk atau bengkok.

Tekukan dapat terjadi karena dua hal, yakni oleh sebab geometris dan homogenitas bahan. Sebab yang pertama terutama adalah karena letak beban yang tidak tepat pada titik pusat berat penampang lintangnya, sehingga timbul momen terhadap sumbu netral batang. Sebab kedua karena sifat mekanis bahan yang tidak homogen sehingga titik-titik pada

suatu penampang lintang mengalami deformasi yang tidak sama. Hal ini juga akan menimbulkan momen terhadap sumbu netral batang. Momen ini akan semakin besar bila penyimpangan dari keadaan ideal semakin besar.

Secara teoritis, tekukan akan terjadi atau tidak ditentukan oleh harga koefisien kerampingan (*sledernes ratio*), yang besarnya ditentukan oleh panjang batang, bentuk, dan ukuran penampang lintangnya, serta konstruksi penumpuan.

$$\lambda = \frac{l}{r} \dots\dots\dots 2.3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan:

- $\lambda$  : Koefisien kerampingan ( $L_k/i$ )
- $l$  : Panjang tekuk, panjang ssatu tekukan simetri (mm)
- $r$  : Jari-jari girasi (mm)
- $I$  : Inersia minimal penampang lintang batang ( $\text{mm}^4$ )
- $A$  : Luas penampang lintang batang ( $\text{mm}^2$ )
- $k$  : Koefisien pemasangan, tergantung penumpuan ujung batang
- $L$  : Panjang batang (mm)

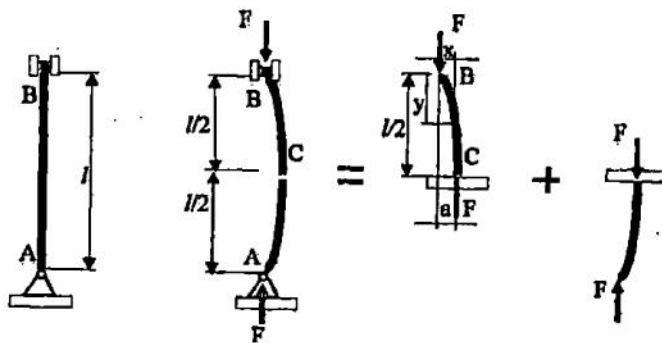
Teori tekuk Euler, yang dikemukakan oleh seorang ahli matematika Swiss Loenhard Euler, pada tahun 1757 digunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan tekuk. Teori ini menggunakan asumsi bahwa tegangan tekan langsung yang terjadi kecil sehingga dapat diabaikan, dan beban tidak lebih dari *beban kritis* yang dapat menyebabkan terjadinya tekukan. Selain itu, bahan batang bersifat isotropis, penampang lintang batang merata sepanjang batang, serta tegangan yang terjadi masih berada dalam batas proposional sehingga hukum Hooke masih berlaku (Fahmi, 2009).

## II. Batang-batang dengan Berbagai Konstruksi Penumpuan

Ada empat macam sistim penumpuan yang akan dibahas, berturut-turut adalah satu ujung batang dijepit sedang ujung yang lain bebas, kedua ujung batang dijepit, kedua ujung batng dipasang berengsel, dan satu ujung batng dijepit sedang ujung lain berengsel. Harga koefisien pemasangan ditunjukkan oleh grafik elastisitas perubahan bentuk batang dalam pembebanan.

### 1) Batang dengan kedua ujung bertumpuan

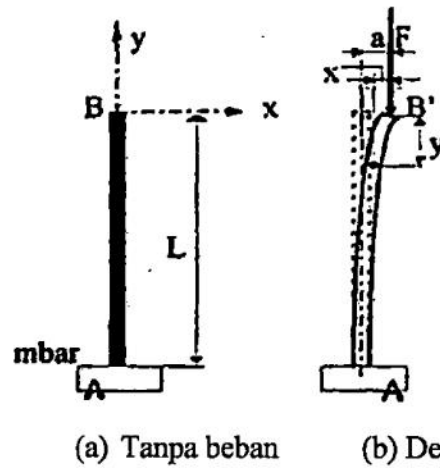
Beban gaya  $F$  (N) pada titik berat penampang lintangnya yang di asumsikan selalu bekerja pada arah vertikal. Akibat beban  $F$  tersebut titik  $B$  akan berpindah ke  $B'$  yang berjarak  $a$  dari kedudukan awal. Beban tersebut merupakan *beban kritis*, sehingga perpindahan sangat kecil dan momen yang timbul tidak cukup untuk menimbulkan tekukan.



(a) Tanpa beban (b) Superposisi

Gambar 2.10 Pembebanan normal negatif

## 2) Satu ujung dijepit dan ujung lain bebas



Gambar 2.11 Pembebanan dengan salah satu ujung dijepit

Menurut analisa dengan harga  $k = 1$ , panjang tekuk sama dengan panjang batang. Sehingga pada Gambar 2.13 (a) diatas, panjang batang tersebut sama dengan panjang batang pada Gambar 2.12 (c), atau  $l/2 = L$ . Dengan perkataan lain, panjang tekuk batang dengan satu tumpuan jepit dan ujungnya bebas adalah:

$$L = 2 L \quad \text{atau} \quad k = 2$$

Sehingga akan menghasilkan persamaan:

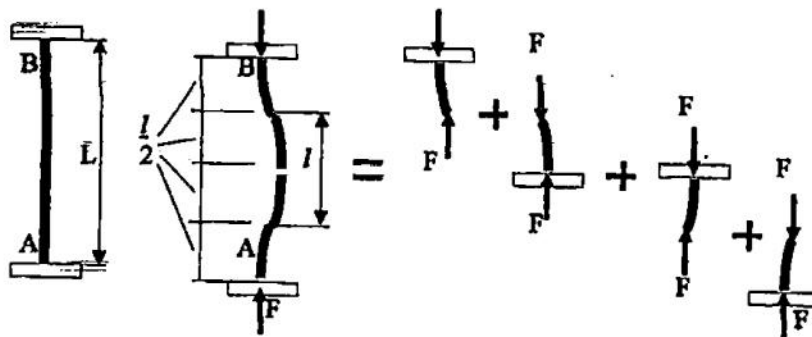
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{4L^2} \dots\dots\dots 2.5$$

Dengan:

- $F_{cr}$  : Beban kritis yang dapat memulai terjadinya tekukan (N)
- $E$  : Modulus elastisitas Young (MPa)
- $I$  : Inersia minimum penampang lintang batang ( $\text{mm}^4$ )
- $L$  : Panjang batang (mm)

### 3) Batang dengan kedua ujung bertumpuan jepit

Secara logika, batang dengan kedua ujung ditumpu secara jepit lebih kaku dibandingkan dengan batang dengan yang kedua ujungnya bertumpuan engsel. Pada Gambar 2.14 terjadi perubahan bentuk elastis batang. Pada batang terbagi menjadi *empat* bagian yang sama panjang yang masing-masing sebangun benar dengan Gambar 2.14, hal ini menyebabkan konstruksi memiliki panjang tekuk  $l = 2L$ . Dengan kata lain, koefisien pemasangan,  $k = 2$ .



(a) Tanpa beban

(b) Superposisi

Gambar 2.12 Balok dengan kedua ujung bertumpuan jepit

Dengan panjang tekuk

$$l = 2L \quad \text{atau} \quad k = 2$$

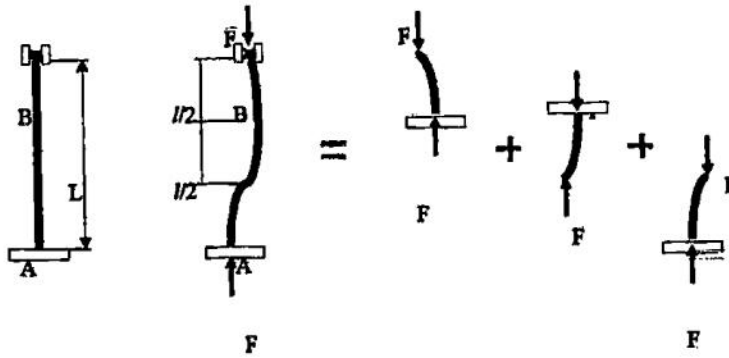
maka persamaan menjadi:

$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 \cdot EI}{L^2} \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan:

- $F_{cr}$  : Beban kritis yang dapat memulai terjadinya tekukan (N)
- $E$  : Modulus elastisitas Young (MPa)
- $I$  : Inersia minimum penampang lintang batang ( $\text{mm}^4$ )
- $L$  : Panjang batang (mm)

## 4) Batang dengan ujung-ujung bertumpuan jepit-sendi



(a) Tanpa beban (b) Pembebanan (c) Penyederhanaan

Gambar 2.13 Pembebanan nominal negatif

Pada Gambar 2.15 (b) menunjukkan bahwa panjang tekuk kurang lebih dua pertiga panjang batang, atau

$$l = \frac{2L}{3} \dots\dots\dots 2.7$$

maka persamaan menjadi,

$$F_{cr} = \frac{9\pi^2 \cdot EI}{4L^2} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan:

- $F_{cr}$  : Beban kritis yang dapat memulai terjadinya tekukan (N)
- $E$  : Modulus elastisitas Young (MPa)
- $I$  : Inersia minimum penampang lintang batang ( $\text{mm}^4$ )
- $L$  : Panjang batang (mm)

### 2.2.12.2 Pompa dan Instalasi Perpipaan



### a) *Head Total Pompa*

*Head* total pompa harus diberikan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi yang akan dilayani oleh pompa.

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_d^2}{2g} \dots\dots\dots 2.9$$

Dengan :

H : *Head* total pompa (m)

Ha : *Head* statis total (m). *Head* ini adalah perbedaan tinggi antar muka air di sisi keluar dan sisi isap.

$\Delta h_p$  : Perbedaan *head* tekanan yang bekerja pada kedua permukaan (m),

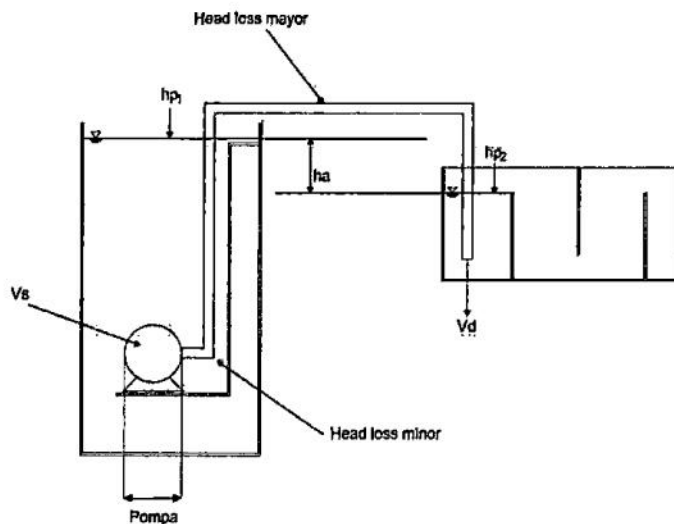
$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1}$$

$h_l$  : Berbagai kerugian *head* di pipa, katup, belokan, sambungan dll (m)

$V^2/2g$  : *Head* kecepatan keluar (m)

g : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

### b) *Head Kerugian (Head Loss)*



Gambar 2.14 Skema instalasi perpipaan alat

Keterangan Gambar :

- $h_{p1}$  : *Head* tekanan pada permukaan air hisap (m)
- $h_{p2}$  : *Head* tekanan pada permukaan air keluar (m)
- $V_s$  : Kecepatan aliran rata-rata pada sisi hisap (m/s)
- $V_d$  : Kecepatan rata-rata pada sisi keluar (m/s)
- $H_a$  : *Head* statis total (m)

*Head* kerugian atau head loss yaitu head untuk mengatasi kerugian-kerugian. *Head loss* dibagi menjadi dua yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Head loss mayor* yaitu *head* kerugian yang terjadi hanya pada pipa lurus. Sedangkan *head loss minor* yaitu *head* kerugian yang terjadi pada pipa selain pipa lurus/*fitting*, seperti *head* kerugian di dalam belokan-belokan, sambungan, *reducer*, katup-katup dan sebagainya.

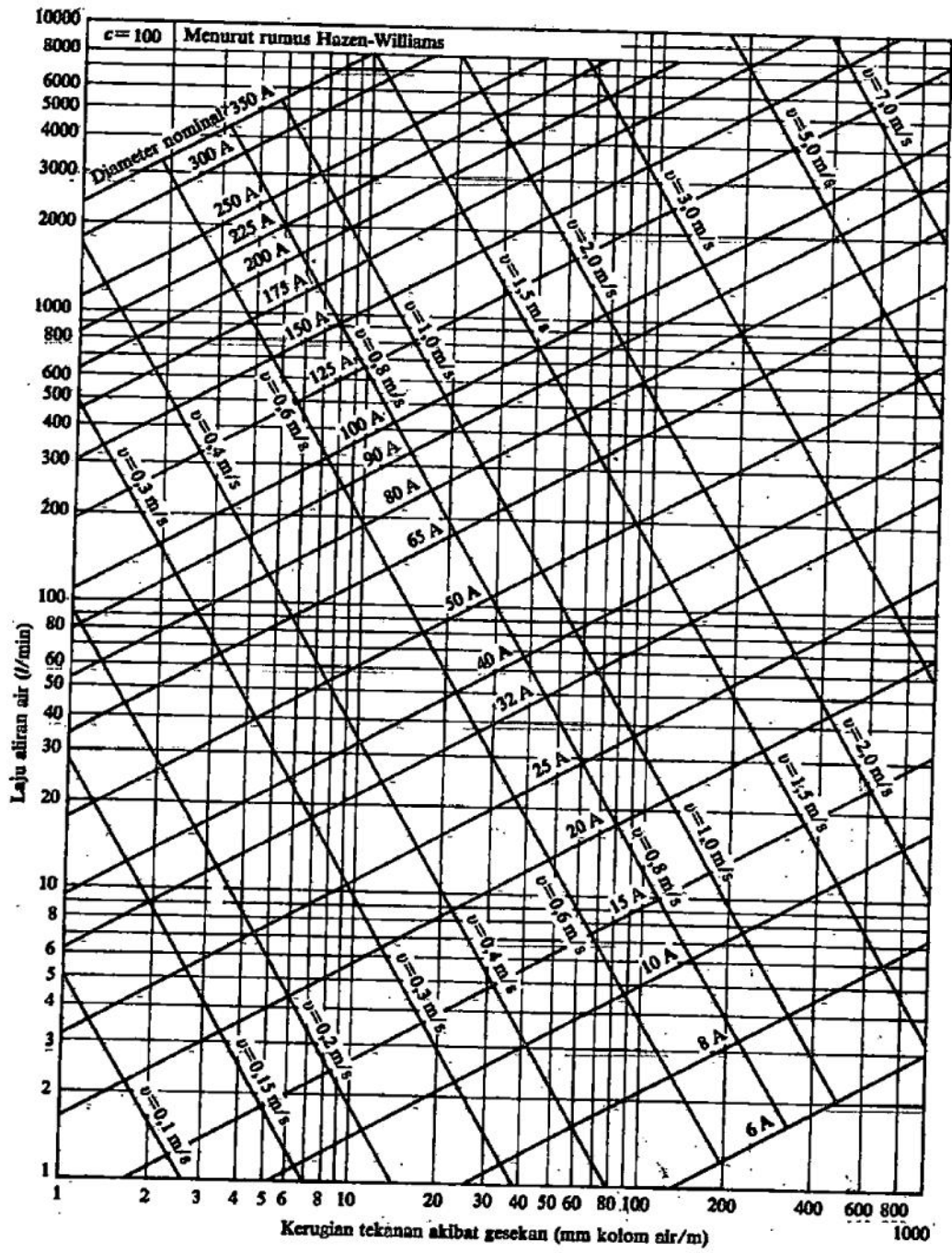
#### 1. *Head Loss* pada Pipa Lurus (*head loss mayor*)

Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa dapat dipakai rumus sebagai berikut :

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 2.10$$

Dengan :

- $v$  : Kecepatan aliran di dalam pipa (m/s)
- $h_f$  : *Head* kerugian gesek dalam pipa (m)
- $\lambda$  : Koefisien gesekan
- $\lambda = 27 \text{ mm kolom air/m} = 0,0027$  (Sularso, 1991)
- $g$  : Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $L$  : Panjang pipa (m)
- $D$  : Diameter pipa (m)



Gambar 2.15 Kerugian gesek dalam pipa PVC kaku

→ Untuk mencari  $v$  pada perhitungan *head* total pompa dapat menggunakan rumus :

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \dots\dots\dots 2.11$$

Dengan :

- $v$  : Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)
- $Q$  : Debit/ kapasitas air yang dipompa (m<sup>3</sup>/s)
- $D$  : Diameter pipa (m)

→ Untuk mencari  $\lambda$  pada perhitungan *head* total pompa dapat menggunakan rumus :

$$Re = \frac{vD}{\nu} \dots\dots\dots 2.12$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots 2.13$$

Dengan:

- $\lambda$  : Koefisien gesekan
- $Re$  : Bilangan Reynolds (tak berdimensi)
- $v$  : Kecepatan aliran di dalam pipa
- $D$  : Diameter pipa (m)
- $\nu$  : Viskositas kinematik zat cair (m<sup>2</sup>/s)
- $\nu = 0,801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (Sularso, 1991)

## 2. *Head loss* pada Pipa Tidak Lurus (*head loss minor*)

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 2.14$$

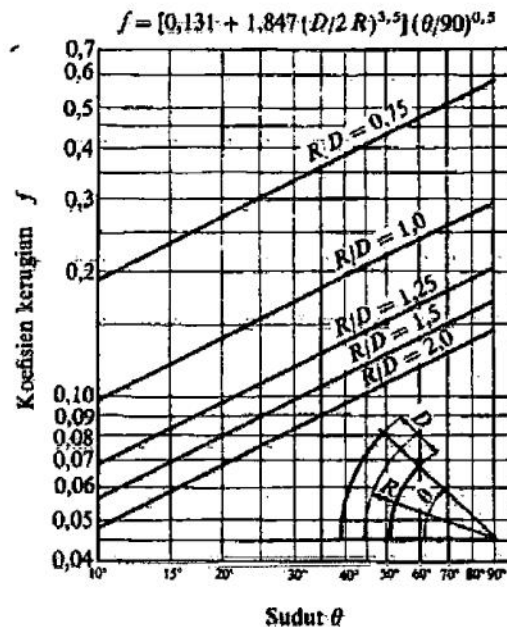
Dengan :

- $h_f$  : Kerugian *head* dalam pipa (m)  
 $f$  : Koefisien kerugian (tidak berdimensi)  
 $v$  : Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)  
 $v = 0,9$  m/s (Sularso, 1991)  
 $g$  : Percepatan gravitasi ( $m^2/s$ )

Untuk menentukan harga  $f$  tergantung dari bentuk instalasi perpipaannya, untuk rinciannya dapat dilihat di bawah ini:

1. Koefisien kerugian pada belokan pipa

Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung dan belokan patah (*miter atau multipiece bend*)



Gambar 2.16 Koefisien kerugian pada belokan

Tabel 2.2 Koefisien tahanan belokan pipa


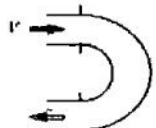
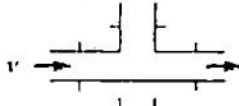
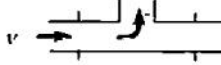
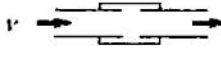
$\theta^0$		5	10	15	22,5	30	45	60	90
f	Halus	0,016	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
	Kasar	0,024	0,44	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

Sumber: Sularso ( 1991 :34)

## 2. Koefisien kerugian pada percabangan, *valve*, dan ujung pipa

Selain kerugian belokan ada juga kerugian dalam instalasi perpipaan berupa kerugian percabangan, *valve*, dan ujung pipa. Berikut adalah tabel koefisien kerugian pada berbagai macam *fitting* instalasi pipa:

Tabel 2.3 Koefisien *minor loss* (*fluid piping systems*)

Component	$K_L$	
<b>a. Elbows</b>		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
<b>b. 180° return bends</b>		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
<b>c. Tees</b>		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
<b>d. Union, threaded</b>		
	0.08	
<b>e. Valves</b>		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, 1/2 closed	0.26	
Gate, 1/3 closed	2.1	
Gate, 2/3 closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/2 closed	5.5	
Ball valve, 3/4 closed	210	

Sumber: [http://eprints.undip.ac.id/41603/3/BAB\\_II.pdf](http://eprints.undip.ac.id/41603/3/BAB_II.pdf) diakses pada 07/03/2014

### 2.2.12.3 Pompa

Pompa adalah peralatan mekanis yang diperlukan untuk mengubah kerja poros menjadi energi fluida (yaitu energi potensial atau energi mekanik). Pada umumnya pompa digunakan untuk menaikkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain yang lebih tinggi.

Untuk menghitung daya input pompa yang digunakan sebagai penggerak digunakan persamaan (Fritz. Diesel, 1996 : 260) :

$$P_{sh} = \frac{Q.H.\rho .g}{\eta_e.1000} \dots\dots\dots 2.15$$

Dengan:

$P_{sh}$  : Daya input proses pompa (Watt)

H : *Head* pompa

Q : Kapasitas pompa

$\eta_e$  : Kerapatan fluida

$\rho$  : Massa jenis fluida