

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Lingkungan

Jumlah penduduk yang tiap tahunnya terus meningkat akan mengakibatkan pertumbuhan pembangunan disegala bidang. Pembangunan tersebut diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan penduduk, guna meningkatkan pemasukkan terutama dari segi ekonomi dan sosial. Tetapi, disisi lain dengan adanya pembangunan di segala bidang, maka akan mengakibatkan adanya perubahan fungsi dari lingkungan tersebut. Lingkungan yang sebelumnya merupakan kawasan persawahan dan hutan, sekarang telah berubah menjadi kawasan perumahan penduduk dan industri.

Karena adanya perubahan fungsi lahan, maka akan mengakibatkan terjadinya pencemaran pada wilayah sekitarnya. Pencemaran tersebut merupakan limbah yang dihasilkan dari rumah tangga dan sektor industri yang berupa limbah cair maupun padat yang kemudian dibuang di sepanjang aliran sungai ataupun tempat-tempat lainnya. Oleh karena itu, pencemaran yang ada akan memberikan dampak yang sangat besar bagi lingkungan sekitarnya.

Secara umum perkataan lingkungan, lingkungan hidup dan lingkungan manusia memiliki pengertian yang berbeda-beda. Guna menyamakan persepsi atau pengertian tentang lingkungan, maka perlu dilakukan batasan tentang lingkungan hidup.

Seperti yang tercantum dalam Undang-undang No. 23 tahun 1997 yang menyebutkan bahwa perkataan lingkungan, lingkungan hidup dan lingkungan hidup manusia dipakai dalam arti yang sama. Jadi apabila kita menyebut perkataan lingkungan maka tidak perlu dipertanyakan tentang lingkungan apa yang dimaksud. Selanjutnya perkataan lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan hidup manusia.

Pengertian lingkungan hidup seperti yang tercantum dalam Pasal 1 ayat (1) Undang-undang No. 23 tahun 1997 tentang Pokok-pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup, menyatakan bahwa "Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk didalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan peri kehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya".

3.2 Pencemaran

"Kita sering mendengar bahwa berbagai jenis industri membuang limbah ke lingkungan, terutama limbah cair yang dibuang ke sungai. Air sungai yang keruh akibat limbah cair rumah tangga juga sering dikatakan bahwa sungai itu tercemar. Padahal sesuatu yang keruh atau kotor belum bisa dikatakan tercemar kalau belum bisa diketemukan adanya unsur-unsur tertentu yang mengganggu fungsi dan kegunaannya (V. Darsono, 1995)".

Dengan perkataan lain harus ada kriteria bahwa lingkungan itu dikatakan tercemar. Kalau sudah ada kriteria tertentu tentang pencemaran, maka kita tidak dapat dengan serampangan mengatakan lingkungan sudah tercemar. Sebaliknya walaupun misalnya air ledeng itu nampaknya tidak tercemar, tetapi apabila

diperiksa tidak sesuai dengan persyaratan yang ada maka dikatakan bahwa air ledeng telah tercemar.

Masalah dampak atau pencemaran terhadap lingkungan telah diatur di dalam Undang-undang No. 23 tahun 1997 Pasal 1 ayat (12) menyebutkan "Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya".

Dari definisi tentang pencemaran tersebut, maka lingkungan itu belum tentu tercemar, walaupun polutan telah masuk. Andaikan saja sesuatu zat telah masuk ke dalam air minum, tetapi tidak mengganggu kesehatan atau kegunaan lainnya, maka tidak dapat dikatakan bahwa telah terjadi pencemaran terhadap air minum. Oleh karena itu, harus dibedakan antara pencemaran dengan pengotoran. Pengotoran akan mempengaruhi kualitas sumber daya tetapi tidak sampai mengganggu peruntukkan atau penggunaan.

Secara garis besar masalah pencemaran dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

- a. pencemaran udara
- b. pencemaran air
- c. pencemaran tanah
- d. pencemaran kebudayaan

Zat, energi dan makhluk hidup atau komponen lain yang dapat menyebabkan pencemaran disebut polutan, sedangkan peristiwa pencemaran sendiri disebut polusi. Polutan dapat dibedakan menjadi empat golongan, yaitu :

- a. polutan fisik
- b. polutan biologis
- c. polutan kimiawi
- d. polutan budaya/sosial

3.3. Pencemaran Air

“Darsono (1995) mengatakan bahwa pencemaran air disamping disebabkan oleh limbah industri, dapat juga disebabkan oleh limbah rumah tangga maupun limbah yang lain. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-52/MENLH/10/1995 Pasal 1 ayat (4) menyebutkan bahwa :

“Limbah cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan”.

3.3.1. Penyebab pencemaran

“Darsono (1995) mengatakan bahwa perkembangan penduduk dan kegiatan manusia telah meningkatkan pencemaran sungai-sungai, terutama sungai-sungai yang melintasi daerah perkotaan. Sebagian besar air bekas kegiatan manusia dibuang ke sistem perairan yang sedikit atau tanpa pengolahan sama sekali terlebih dahulu, hal ini menyebabkan penurunan kualitas air sungai”.

Salah satu jenis pencemaran yang disebabkan oleh limbah domestik adalah pencemaran organik. Dua akibat utama berkenaan dengan pencemaran organik

adalah penyebaran penyakit dan *deoksigenisasi* sungai yang dapat mematikan biota air. Limbah rumah tangga, bukan hanya limbah yang berasal dari rumah tinggal penduduk saja, tetapi juga mencakup limbah yang berasal dari rumah sakit dan pasar.

Selanjutnya apa yang dimaksud dengan limbah rumah tangga telah diberi batasan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 173/MenKes./Per/VIII/77 Bab 1 Pasal 1 butir (j) menyebutkan : “Buangan rumah tangga adalah buangan yang berasal bukan dari industri, melainkan berasal dari rumah tinggal, kantor, hotel, restoran, tempat ibadah, tempat hiburan, pasar, pertokoan dan rumah sakit”. Dari definisi tersebut, terlihat jelas bahwa dengan meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatan manusia, maka pencemaran oleh limbah rumah tangga juga semakin meningkat. Sebenarnya perairan itu secara alami mempunyai daya *purifikasi* sendiri, bahan organik yang berupa limbah akan hancur terurai oleh kegiatan bakteri.

3.3.2. Indikator pencemaran

“Indikator pencemaran yang banyak digunakan untuk kontrol kualitas air adalah DO dan BOD, hal ini antara lain disebabkan dalam penentuan DO dan BOD tidak memerlukan waktu yang lama dan peralatan yang digunakan sangat sederhana dan murah. Kontrol kualitas air dengan indikator DO dan BOD lebih tepat lagi apabila penyebab pencemarannya adalah limbah rumah tangga (V. Darsono, 1995)”.

Apabila dalam pemeriksaan DO dan BOD kualitas air memenuhi syarat tidak berarti bahwa air itu telah memenuhi semua persyaratan. Banyak sekali

persyaratan parameter air yang harus diukur untuk mengetahui apakah air itu memenuhi persyaratan yang ditentukan. Berbagai logam berat, pH, air dan suhu tidak akan teramati di dalam penentuan DO dan BOD. Memang, DO dan BOD hanya merupakan suatu indikator, apabila DO dan BOD jauh di bawah persyaratan, maka sangat dimungkinkan persyaratan air yang lainnya juga tidak memenuhi syarat.

3.3.3. *Disolved oxygen (DO)*

Salah satu fungsi air yang penting adalah sebagai tempat hidup bagi kehidupan air, sehingga diperlukan oksigen bebas yang terlarut di dalam air atau *disolved oxygen (DO)* yang cukup. *Disolved oxygen (DO)* merupakan “banyaknya oksigen bebas yang terdapat dalam air dengan bentuk molekul oksigen yang dinyatakan dalam ppm”.

Oksigen bebas dalam air dapat berkurang bila di dalam air terdapat kotoran/limbah organik yang *degradable*. Karena di dalam kotoran/limbah tersebut terdapat bakteri yang bersifat *aerob*, *anaerob* atau *fakultatif*. Bakteri *aerob* merupakan bakteri yang memerlukan oksigen bebas untuk keperluan hidupnya. Bakteri *anaerob* adalah bakteri yang tidak memerlukan oksigen bebas untuk keperluan hidupnya. Bakteri *fakultatif* merupakan bakteri yang memiliki sifat *aerob* maupun *anaerob* didalam melangsungkan kehidupannya.

Dalam air bersih jumlah bakteri hanya sedikit, karena bakteri sulit berkembang akibat tidak adanya ketersediaan makanan bagi bakteri yang berupa kotoran/limbah. Sehingga kadar DO dalam air bersih relatif besar. Ini dapat dibedakan dengan kondisi pada air kotor, yang jumlah bakteri dalam air kotor

sangat banyak. Bakteri yang cukup banyak dalam air kotor disebabkan karena adanya perkembangan bakteri yang sangat cepat dan didukung oleh jumlah kotoran/limbah yang cukup sebagai sumber makanan bagi bakteri. Sehingga kandungan DO di dalam air kotor menjadi kecil atau bahkan dapat habis.

Bakteri *aerob* dan *anaerob* akan menguraikan zat organik dalam air menjadi persenyawaan yang sederhana, seperti : sulfur dan oksigen. Selama air mengandung DO yang cukup banyak, maka yang akan berkembang adalah bakteri *aerob* yang merupakan bakteri yang akan mengubah zat organik menjadi persenyawaan yang tidak berbahaya (dikehendaki), seperti : nitrogen dirubah menjadi persenyawaan nitrat dan belerang dirubah menjadi persenyawaan sulfat. Bila oksigen dalam air habis atau sangat sedikit, maka yang berkembang adalah bakteri *anaerob* yang merupakan bakteri yang akan merubah zat organik menjadi persenyawaan yang sederhana (tak dikehendaki), seperti : amonia. Apabila air terlalu banyak mengandung limbah organik maka akan berbau karena akan terbentuk gas yang banyak mengandung karbon dan monoksida sehingga akan mengurangi kandungan oksigen dalam gas tersebut.

3.3.4. Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD), merupakan indikator yang paling banyak digunakan untuk menguji kualitas air atau kepekatan limbah cair. "Tjokrokusumo (1998), mengatakan bahwa *Biological Oxygen Demand* (BOD), atau kebutuhan oksigen untuk proses biologi merupakan petunjuk pengujian yang paling banyak digunakan yang didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai bahan-bahan organik yang terkandung di

dalam air pada kondisi *aerobic* (5, 20), yaitu pada suhu 20° celcius selama periode inkubator 5 hari.

Sebelum dilakukan pengukuran perlu dilakukan sebuah proses stabilisasi, yang memerlukan waktu yang cukup lama, bisa mencapai 100 hari. Kebutuhan oksigen yang diperlukan bakteri pada masa stabilisasi 1 hari jelas berbeda dengan 2 hari, 1 minggu, dan seterusnya. Aktivitas mikroorganisme akan memerlukan oksigen semakin banyak pada suhu yang semakin tinggi. Kebutuhan oksigen dalam suhu yang berbeda dan waktu yang sama juga berbeda.

Untuk menyatukan pendapat, maka jika tidak diberi keterangan BOD yang dimaksud adalah BOD (5, 20), yaitu BOD pada waktu 5 hari dengan suhu 20° celcius. Apabila BOD yang tidak untuk waktu 5 hari dan 20° celcius, maka harus diberi keterangan. Didalam Peraturan Menteri atau peraturan-peraturan yang lain maka BOD yang dimaksud adalah BOD 5 hari dan 20° celcius.

Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD adalah :

- a. Jenis limbah
- b. Suhu air
- c. Derajat keasaman (pH)
- d. Kondisi air secara keseluruhan

Jenis limbah akan menentukan besar kecilnya BOD, ini dapat dilihat dari proses pembusukan yang terjadi pada limbah. Semakin mudah terjadi pembusukan dalam limbah, maka nilai BOD akan semakin besar.

Derajat keasaman pH air akan sangat menentukan aktivitas mikroorganisme dengan baik, yang memiliki syarat bahwa pH antara 6,5 – 8,3.

Bila pH yang terdapat pada limbah tersebut sangat kecil atau sangat besar, maka mikroorganismenya yang terdapat pada limbah tidak aktif atau bahkan mati.

Selain beberapa faktor yang telah diuraikan di atas, aktivitas mikroorganismenya juga ditentukan oleh kondisi air secara keseluruhan. Jika kondisi keseluruhan air tersebut mendukung berkembangbiaknya mikroorganismenya, maka akan menyebabkan nilai BOD menjadi besar.

3.4. Pengolahan Limbah Cair

3.4.1. Jenis pengolahan limbah cair

Pengolahan limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Pengolahan secara fisik

Pengolahan secara fisik tidak dapat diterapkan untuk berbagai pengolahan limbah cair. Dalam pengolahan limbah cair secara fisik, polutan akan dipisahkan dengan cara diendapkan. Hasil yang dicapai sangat terbatas dan memerlukan waktu yang cukup lama.

2. Pengolahan secara kimiawi

Pengolahan limbah cair secara kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan kimia ke dalam limbah cair. Dalam hal ini yang sangat penting adalah menentukan jenis bahan-bahan kimia yang diperlukan. Dalam pengolahan limbah cair secara kimiawi, waktu dan area yang diperlukan jauh lebih kecil dibandingkan pengolahan limbah secara fisik dan biologi. Limbah cair yang mengandung zat-zat kimia termasuk golongan logam berat, sangat tepat bila menggunakan pengolahan limbah cair secara kimiawi.

3. Pengolahan secara biologi

Pengolahan limbah cair secara biologi terutama memanfaatkan kerja mikroorganisme. Dalam pengolahan limbah cair secara biologi, polutan yang *degradable* yang segera dapat dihilangkan. Polutan yang *degradable* merupakan makanan bagi bakteri, sehingga dalam waktu singkat bakteri akan berkembang biak dan menghabiskan makanan yang ada dalam limbah cair. Proses penghancuran polutan secara biologi dipercepat dengan memacu pertumbuhan bakteri. Pengolahan limbah cair secara biologi sangat baik, tetapi memerlukan waktu yang lama dan area yang luas.

3.4.2. Sumber limbah cair

Sumber utama limbah cair rumah tangga berasal dari perumahan, daerah perdagangan, perkantoran, perhotelan dan tempat rekreasi. Air limbah rumah tangga yang berasal dari daerah perumahan biasanya diperkirakan melalui jumlah limbah yang dibuang per orang.

Aliran limbah cair yang berasal dari daerah perdagangan biasanya dihitung dalam meter kubik per hektar per hari. Dari berbagai jenis perdagangan jumlah limbah cair per hektar per hari telah banyak diteliti. Demikian juga berbagai limbah cair yang berasal dari rumah sakit dan daerah rekreasi telah banyak diteliti.

Sedangkan limbah cair yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri tersebut. Untuk memperkirakan jumlah limbah cair yang berasal dari industri yang tidak mempergunakan proses basah, sekitar 50 meter kubik per hektar per hari.

3.4.3. Sifat limbah cair

1. Sifat fisik

Penentuan derajat kekotoran limbah cair sangat dipengaruhi oleh sifat fisik yang mudah terlihat seperti kandungan zat padat, kejernihan, warna, bau dan suhu.

2. Sifat kimia

Kandungan bahan kimia di dalam limbah cair dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen serta menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Selain itu, akan lebih berbahaya lagi apabila bahan yang berada di dalam air tersebut merupakan bahan beracun.

3.4.4. Efek buruk limbah cair

1. Gangguan terhadap kesehatan

Limbah cair sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia, mengingat banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui limbah cair. Limbah cair ini, ada yang hanya berfungsi sebagai media pembawa saja, seperti : penyakit kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta *skhistosomiasis*. Selain sebagai pembawa penyakit di dalam limbah cair itu sendiri banyak terdapat bakteri patogen penyebab penyakit, seperti : virus, *Brussella sp.*, *Laptospira*, *Entamuba Histolitika*.

Selain sebagai pembawa dan mengandung kuman penyakit, maka limbah cair juga dapat mengandung bahan beracun, penyebab iritasi, bau dan

bahkan suhu yang tinggi serta bahan-bahan lainnya yang mudah terbakar. Keadaan demikian ini sangat dipengaruhi oleh sumber dari limbah cair tersebut.

2. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Banyaknya zat pencemar yang terkandung di dalam limbah cair, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam limbah cair tersebut. Sehingga akan menyebabkan kehidupan di dalam air yang membutuhkan oksigen akan terganggu, dalam hal ini akan mengurangi perkembangan kehidupan air. Selain kehidupan di dalam air yang disebabkan oleh kurangnya oksigen di dalam air, dapat juga disebabkan oleh adanya zat beracun yang terkandung di dalam limbah cair tersebut. Semuanya itu akan menyebabkan kematian pada biota air yang berupa ikan, sedangkan bakteri-bakteri yang dihasilkan dari limbah cair tersebut akan mengakibatkan kerusakan pada tanaman atau tumbuhan air yang ada.

Sebagai akibat matinya bakteri-bakteri yang ada, maka proses penjernihan limbah cair yang seharusnya dapat terjadi akan menjadi terhambat. Sehingga akan mengakibatkan dampak yang lebih, dimana limbah cair yang ada akan sulit untuk terurai dengan baik.

3. Gangguan terhadap keindahan

Banyaknya zat organik yang dihasilkan oleh perusahaan yang memproduksi bahan organik seperti tapioka untuk dibuang, maka setiap hari akan dihasilkan limbah cair yang berupa bahan-bahan organik dalam jumlah yang sangat besar. *Suspended* yang berasal dari pabrik ini, perlu dilakukan proses pengendapan terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran limbah cair, yang mana

memerlukan waktu yang sangat lama. Selama waktu tersebut, maka limbah cair mengalami proses pembusukkan dari zat organik yang ada didalamnya. Sebagai akibat selanjutnya adalah akan menimbulkan bau dari hasil pengurangan zat organik yang sangat menusuk hidung.

Disamping bau yang ditimbulkan, maka dengan adanya penumpukan sedimen hasil pengolahan limbah, akan memerlukan tempat yang banyak untuk menampung penambahan sedimen, sehingga akan mengganggu keindahan tempat di sekitarnya. Pembuangan yang sama, juga akan dihasilkan oleh perusahaan yang menghasilkan lemak dan minyak, selain menimbulkan bau juga akan menyebabkan tempat disekitarnya menjadi licin. Selain bau dan penumpukan sedimen hasil pengelolaan limbah yang mengganggu, maka warna limbah cair yang kotor akan menimbulkan gangguan pemandangan yang tidak kalah pentingnya.

4. Gangguan terhadap kerusakan benda

Apabila limbah cair mengandung gas karbondioksida yang agresif, maka mau tidak mau akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi serta bangunan air kotor lainnya. Kerusakan benda yang semakin cepat, berakibat pada pengeluaran biaya pemeliharaan yang akan semakin besar juga, yang berarti akan menimbulkan kerugian material. Jika limbah cair tersebut berkadar pH rendah atau bersifat asam maupun limbah cair berkadar pH tinggi atau bersifat basa akan mengakibatkan timbulnya kerusakan pada benda-benda yang akan dilalui limbah cair tersebut.

Lemak merupakan sebagian dari komponen limbah cair yang mempunyai sifat yang menggumpal pada suhu udara normal, dan akan berubah menjadi cair apabila berada pada suhu udara yang lebih panas. Lemak yang berupa benda cair pada saat dibuang ke saluran limbah cair akan menumpuk secara kumulatif pada saluran limbah cair karena mengalami pendinginan dan lemak ini akan menempel pada dinding saluran limbah cair yang pada akhirnya akan dapat menyumbat aliran limbah cair pada saluran. Selain menyumbat, lemak yang menempel pada saluran limbah cair, juga akan mengakibatkan kebocoran pada saluran limbah cair.

3.5. Baku Mutu Limbah Cair untuk Hotel

Baku mutu limbah cair bagi kegiatan hotel terdapat dalam keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup yaitu : KEP-52/MENLH/10/1995. Sesuai yang tercantum dalam keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan hotel pada Pasal 2 ayat (2) yaitu : bahwa hotel yang telah beroperasi sebelum dikeluarkannya keputusan ini dan hotel yang perencanaannya dilakukan sebelum dikeluarkannya keputusan ini dan beroperasi setelah dikeluarkannya keputusan ini berlaku baku mutu limbah cair pada tabel berikut :

Tabel 3.1. Baku Mutu Limbah Cair sebelum 1 Januari 2000

Parameter	Satuan	Kadar
pH	mg/l	6 – 9
BOD ₅	mg/l	75
COD	mg/l	100
TSS	mg/l	100

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 1996/1997
 Nomor : KEP-52/MENLH/10/1995

Bagi kegiatan hotel yang perencanaannya dilakukan dan beroperasi setelah dikeluarkannya keputusan ini, maka berlaku baku mutu limbah cair pada tabel berikut. Begitu juga dengan hotel yang mulai beroperasi sebelum dikeluarkannya peraturan ini harus melakukan penyesuaian dengan peraturan yang terdapat pada tabel berikut selambat-lambatnya tanggal 1 Januari 2000.

Tabel 3.2. Baku Mutu Limbah Cair setelah 1 Januari 2000

Parameter	Satuan	Kadar
pH	mg/l	6 – 9
BOD ₅	mg/l	30
COD	mg/l	50
TSS	mg/l	50

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 1996/1997
 Nomor : KEP-52/MENLH/10/1995

3.6. Analisa Limbah Cair

Sebelum menganalisa limbah cair perhotelan yang ada, harus diketahui terlebih dahulu karakteristik dari limbah cair perhotelan tersebut. Kemudian setelah karakteristik limbah cair diketahui, maka dilaksanakan analisa untuk limbah cair perhotelan yang ada. Analisa limbah cair tersebut menggunakan analisis statistika.

Dalam analisa limbah cair perhotelan ini, dipergunakan analisa persamaan regresi, antara lain :

1. Regresi linier

$$F = A + Bx \quad (3-1)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3-2)$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x} \quad (3-3)$$

2. Regresi logaritmik

$$F = A + B \ln x \quad (3-4)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i \ln x_i - \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n \ln^2 x_i - \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2} \quad (3-5)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - B \sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (3-6)$$

Sedangkan untuk memilih data yang sesuai di dalam analisa limbah cair perhotelan ini, harus dilakukan peramalan terhadap hasil analisa limbah cair perhotelan itu sendiri. Persamaan yang sesuai untuk meramalkan hasil analisa limbah cair ini, merupakan persamaan yang memberikan ukuran kesalahan peramalan yang terkecil. Sedangkan konstanta yang terdapat dalam persamaan, dicari dengan data yang dihasilkan saat menganalisa limbah cair perhotelan tersebut. Ukuran kesalahan peramalan yang digunakan, antara lain :

1. *Standart Error of Estimate* (SEE)

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - F_i)^2}{n - f}} \quad (3-7)$$

2. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - F_i|}{n} \quad (3-8)$$

3. *Mean Square Error* (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (3-9)$$

4. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - F_i}{n} \right| \quad (3-10)$$

keterangan : X : data aktual
 F : hasil peramalan
 n : jumlah data
 f : derajat kebebasan

3.7. Perencanaan Hasil Pengolahan Limbah Cair

Hasil pengolahan limbah cair tersebut akan dimanfaatkan kembali untuk dipergunakan sebagai air gelontor yang kemudian dialirkan kedalam sistem pemipaan yang telah ada.

Perhitungan pemipaan akan dilakukan setelah diketahui bahwa air yang keluar dari pengelolaan limbah cair telah sesuai dengan baku mutu limbah cair perhotelan dan air bersih. Air yang telah memenuhi syarat akan dialirkan kembali untuk dimanfaatkan sebagai air pemeliharaan tanaman dan sebagian dimasukkan

kedalam sistem air bersih sebagai air gelontor yang disesuaikan dengan kebutuhan akan air gelontor pada hotel tersebut dengan pemasangan pipa tambahan.

Dalam penentuan pemasangan pipa tambahan terlebih dahulu ditentukan panjang pipa dan diameter pipa yang akan dipergunakan serta perletakkan pompa untuk mengalirkan air gelontor hasil olahan limbah cair hotel tersebut guna menaikkan air gelontor tersebut ke dalam bak penampungan air bersih.

Sebelum air gelontor dinaikkan ke dalam bak penampungan air bersih, maka dilakukan penyekatan pada bak penampungan terlebih dahulu agar dapat membedakan penempatan air bersih yang ada dengan air gelontor hasil dari pengelolaan limbah cair sebelumnya. Persentase penyekatan dilakukan dengan cara menentukan kapasitas air gelontor yang diperlukan untuk keperluan hotel tersebut. Kapasitas air gelontor dapat diperoleh dari banyaknya hunian yang dimiliki hotel tersebut dikalikan dengan jumlah kebutuhan air gelontor tiap orang.

Dalam perencanaan pemasangan pipa tambahan serta saluran pelimpah, setelah diketahui panjang pipa dan diameter pipa maka dapat diperhitungkan perencanaan tersebut dengan mengacu pada persamaan-persamaan di bawah ini :

1. Kecepatan air (V)

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3-11)$$

keterangan : V : kecepatan aliran (m/s)
Q : debit aliran (m³/s)
A : luas pipa (m²)

➤ rumus Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

keterangan : V : kecepatan aliran (m/s)
 n : koefisien Manning
 R : jari-jari hidrolis (m)
 I : kemiringan dasar saluran

Tabel 3.3 Harga Koefisien Manning

Bahan	Koefisien Manning (n)
Besi tuang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata lapis mortal	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : Bambang Triatmodjo, Hidrolika II

2. Koefisien gesek (f)

$$Re = \frac{VxD}{\nu} \quad (3-12)$$

keterangan : Re : angka Reynold
 V : kecepatan air (m/s)
 D : diameter pipa (m)
 ν : kekentalan kinematik air untuk $t = 20^{\circ}\text{C}$
 $= 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Jika telah diketahui angka Reynold, maka nilai koefisien gesek (f) dapat diperhitungkan dengan cara mengetahui terlebih dahulu jenis aliran yang mengalir di dalam pipa tersebut. Jenis aliran dapat diketahui bila angka Reynold memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Jika nilai $Re < 2000$ maka merupakan aliran laminar sehingga dapat diketahui bahwa :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3-13)$$

- b. Jika nilai Re berada pada syarat $2000 \leq Re \leq 4000$ maka aliran yang mengalir merupakan aliran transisi, sehingga nilai koefisien gesek dapat diperoleh dari persamaan Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3-14)$$

- c. Jika nilai $Re > 4000$ maka merupakan aliran turbulen, dimana penentuan nilai koefisien gesek tergantung pada kekasaran pipa aliran sehingga :

1. Pipa halus, dapat mempergunakan beberapa persamaan seperti :

- ❖ Persamaan Nikuradre :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \quad (3-15)$$

- ❖ Persamaan Blasius :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (3-16)$$

dengan syarat : $4000 < Re < 10^5$

2. Pipa kasar, dapat mempergunakan persamaan Nikuradre seperti :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7D}{k} \quad (3-17)$$

Selain menggunakan persamaan-persamaan diatas, penentuan nilai koefisien gesek baik itu merupakan pipa halus maupun pipa kasar dapat ditentukan dengan mem-plotting nilai Re dan $\frac{k}{D}$ ke dalam diagram Moody. Nilai k merupakan nilai dari tinggi kekasaran pipa.

3. Kehilangan tenaga selama pengaliran dengan persamaan Darcy-Weisbach

$$hf = \frac{32fL}{g\pi^2 D^5} x Q^2 \quad (3-18)$$

keterangan : hf : tinggi kehilangan tenaga (m)
 f : koefisien gesek
 L : panjang pipa (m)
 g : gravitasi (m/s)
 D : diameter pipa (m)
 Q : debit aliran (m³/s)

4. Kehilangan tenaga yang terjadi pada belokan pipa

$$hb = K_b \frac{V^2}{2g} \quad (3-19)$$

keterangan : hb : kehilangan tenaga pada belokan (m)
 Kb : koefisien kehilangan tenaga pada belokan
 V : kecepatan aliran (m/s)
 g : gravitasi (m/s)

Tabel 3.4 Koefisien Kb sebagai Fungsi Sudut Belok (α)

α	Kb
20°	0,05
40°	0,14
60°	0,36
80°	0,74
90°	0,98

Sumber : Bambang Triatmodjo, Hidrolika II

5. Tinggi efektif total yang harus dikerjakan pompa

$$H = H_s + \Sigma h \quad (3-20)$$

keterangan : H : tinggi efektif total (m)
 H_s : beda elevasi muka air (m)
 Σh : kehilangan tenaga total saat pengaliran (m)

6. Daya pompa

$$P = \frac{QH\gamma}{75\eta} \quad (3-21)$$

keterangan : P : daya pompa (hp)
 Q : debit aliran (m³/s)
 H : tinggi tekanan efektif (m)
 γ : berat jenis zat cair (kgf/m³)
 η : efisiensi pompa

7. Tegangan geser pada dinding

$$\tau_o = \frac{f}{8} \rho V^2 \quad (3-22)$$

keterangan : τ_o : tegangan geser (N/m²)
 ρ : berat jenis (kgf/m³)
 f : koefisien gesek

8. Kecepatan pada sumbu pipa

➤ kecepatan geser

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \quad (3-23)$$

keterangan : v_* : kecepatan geser (m/s)
 τ_o : tegangan geser (N/m^2)
 ρ : berat jenis (kgf/m^3)

➤ kecepatan di sumbu pipa

$$\frac{v}{v_*} = 5,75 \log \frac{v_* y}{\nu} + 5,5 \quad (3-24)$$

keterangan : v : kecepatan di sumbu pipa (m/s)
 v_* : kecepatan geser (m/s)
 y : setengah diameter pipa (m)
 ν : kekentalan kinematik air
 $= 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

9. Tebal sub lapis laminer

$$\delta_L = \frac{5 \cdot \nu}{v_*} \quad (3-25)$$

keterangan : δ_L : tebal sub lapis laminer (mm)
 v_* : kecepatan geser (m/s)
 ν : kekentalan kinematik air
 $= 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Kemudian air yang dipergunakan untuk air pemeliharaan tanaman dapat diambil langsung dari bak hasil pengolahan limbah cair perhotelan atau dengan cara mengalirkannya ke dalam titik-titik penyiraman yang sudah ada dengan cara memberikan penambahan pipa pengaliran.