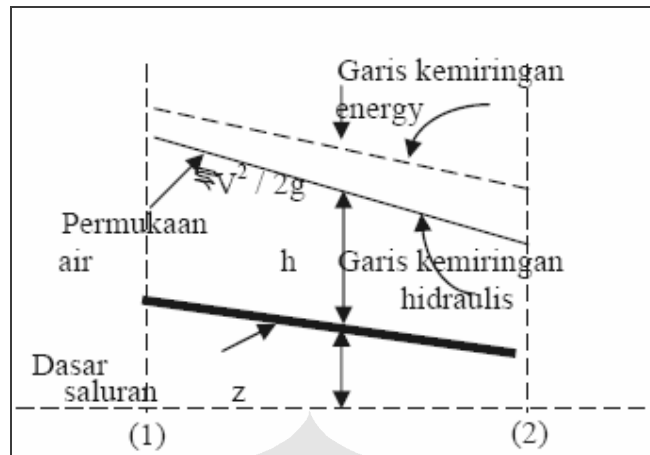


BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Aliran Saluran Terbuka

Suatu aliran dikatakan tergolong aliran saluran terbuka apabila tekanan di permukaan air berada pada level yang sama dengan tekanan atmosfer. Secara sederhana, aliran di saluran terbuka diasumsikan bersifat paralel, memiliki distribusi kecepatan yang sama di setiap segmen di sepanjang aliran saluran, dan memiliki kemiringan dasar saluran yang kecil. Namun pada kenyataannya, ada faktor yang mempengaruhi aliran sehingga kondisi tersebut dapat berubah. Faktor-faktor yang dapat merubah kondisi aliran bergantung pada ruang dan waktu. Aliran pada saluran yang memiliki penampang yang irregular, misalnya sungai akan menghasilkan kecepatan yang tidak seragam pula di setiap segmen. Oleh karenanya, untuk saluran terbuka, tidak dapat dilakukan generalisasi untuk keseluruhan saluran. Tinjauan yang lebih akurat akan didapat dengan membagi saluran ke dalam segmen-segmen dengan bentang tertentu dari keseluruhan bentang saluran. Dengan diketahuinya kondisi aliran di tiap segmen, maka dapat diketahui pula kondisi aliran di seluruh saluran. Kondisi aliran yang dimaksud mencakup struktur hidrolika aliran seperti debit, kecepatan, dan luas penampang, ataupun kondisi kualitas air yang mengalir di saluran tersebut. Berikut gambar yang menggambarkan kondisi aliran di suatu segmen di saluran terbuka.



Gb. II.1 Kondisi Aliran di Saluran Terbuka

Berdasarkan gambar, titik awal segmen (wilayah hulu) ditandai dengan titik 1, sementara titik 2 merupakan titik akhir segmen (wilayah hilir). Sepanjang bentang dengan panjang bentang L (m), maka dapat digambarkan *hydraulic grade line* yang merepresentasikan elevasi muka air, *piezometric height* yang merepresentasikan kedalaman air, dan *energy grade line* direpresentasikan sebagai energi.

II.1.1 Tipe Aliran

Klasifikasi aliran pada saluran terbuka bergantung pada ruang dan waktu. Waktu sebagai kriteria akan mengklasifikasikan aliran menjadi aliran *steady* (tunak) dan aliran *unsteady* (tidak tunak). Kondisi aliran tunak didefinisikan sebagai aliran dengan tidak adanya perubahan kecepatan (kecepatan konstan) di sepanjang saluran terhadap waktu. Selain itu tidak berubahnya tinggi muka air (kedalaman) terhadap waktu dari suatu aliran juga dapat mengidentifikasi aliran tersebut ke dalam kondisi tunak. Sedangkan aliran tidak tunak terjadi pada aliran yang mengalami perubahan kecepatan di sepanjang aliran.

Sementara itu apabila ruang dijadikan kriteria, maka aliran akan dikategorikan menjadi aliran *uniform* (seragam) dan *nonuniform* (tidak seragam). Aliran dikatakan seragam bila selama aliran berada di sepanjang penampang, tidak terjadi perubahan kecepatan baik nilai maupun arah. Aliran juga dikatakan seragam bila tidak terjadi perubahan kedalaman air

di sepanjang penampang. Sedangkan aliran tidak seragam terjadi pada aliran yang mengalami perubahan kecepatan dan kedalaman menurut ruang.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, maka persamaan-persamaan pada aliran di saluran terbuka akan bergantung pada variabel ruang (x) dan waktu (t). Berikut tabel yang memaparkan kombinasi aliran di saluran terbuka.

Tabel II.1 Kombinasi Aliran di Saluran Terbuka

Tipe Aliran	Kecepatan Rata-rata	Kedalaman
Steady-uniform	$v = \text{konstan}$	$y = \text{konstan}$
Steady-nonuniform	$v = v(x)$	$y = y(x)$
Unsteady-uniform	$v = v(t)$	$y = y(t)$
Unsteady-nonuniform	$v = v(x, t)$	$y = y(x, t)$

Sumber : Mechanics of fluid, Wiggert, D. C, halaman 438

II.1.2 Struktur Hidrolika Aliran Saluran Terbuka

Struktur hidrolika saluran pada dasarnya terdiri atas tiga komponen yakni debit aliran, kecepatan aliran, dan dimensi penampang saluran. Untuk saluran buatan, perencanaan kondisi aliran didasarkan pada struktur hidrolikanya. Dengan menentukan kecepatan aliran rencana, maka debit rencana juga akan didapat. *Dimentioning* penampang yang dibutuhkan juga dapat direncanakan. Sementara untuk saluran alami misalnya sungai, dengan diketahuinya struktur hidrolika saluran maka pemanfaatan sungai akan lebih maksimal. Kegiatan pemanfaatan ini, misalnya memanfaatkan debit aliran untuk kebutuhan irigasi. Dari kebutuhan ini serta struktur hidrolika eksisting sungai maka dapat dievaluasi potensi aliran. Kemudian, dengan diketahuinya struktur hidrolika sungai dapat pula direncanakan bangunan pelengkap yang dibangun untuk memaksimalkan potensi sungai tersebut.

II.2 Persamaan Aliran di Saluran Terbuka

Pada umumnya persamaan aliran di saluran terbuka hanya digunakan pada aliran tetap dengan debit dinyatakan :

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan : Q = debit (m³/s)

A = luas penampang melintang saluran (m²)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/s)

Sementara itu, debit di sepanjang aliran dianggap seragam dengan kata lain aliran bersifat kontinu, sehingga :

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots \dots \dots (2)$$

Namun demikian, tidak dapat dipungkiri bahwa akibat material yang berbeda pada setiap saluran, terutama saluran terbuka seperti sungai, aliran akan mengalami gesekan dengan material salurannya. Oleh sebab itu perlu juga dilakukan perhitungan kecepatan aliran yang memperhatikan faktor gesekan tersebut. Persamaan Manning dapat digunakan untuk melakukan perhitungan yang dimaksud. Koefisien Manning (n) memperhitungkan koefisien kekasaran saluran pada perhitungannya. Koefisien kekasaran merupakan pengerem dari aliran air baik di saluran (channel) maupun dataran banjir (flood plain). Nilai n pada saluran ditentukan dengan mengevaluasi pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan oleh faktor-faktor kekasaran di dalam saluran. Persamaan Manning adalah sebagai berikut :

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/s)

n = Koef. Kekasaran Manning → berdasarkan material saluran

R = Jari-jari hidrolis saluran (m)

S = *Slope of energy grade line* (m/m) → tipikal untuk masing- masing wilayah

Berikut tabel yang menunjukkan nilai koefisien Manning untuk beberapa material saluran :

Tabel II.2 Nilai Koefisien Manning (n)

Material Dasar	Diameter Material (mm)	<i>Straight Uniform Channel</i>	<i>Smooth Channel</i>
Pasir	0.2	0.012	-
	0.3	0.017	-
	0.4	0.020	-
	0.5	0.022	-
	0.6	0.023	-
	0.8	0.025	-
	1	0.026	-
Beton	-	0.012 – 0.018	0.011
Batu Pecah	-	-	0.025
Tanah Asli	-	0.025 – 0.032	0.020
Pasir Kasar	1 – 2	0.026 – 0.035	-
Kerikil Halus	-	-	0.024
Kerikil	2 – 64	0.028 – 0.035	-
Kerikil Kasar	-	-	0.026
Batu Bulat Kecil	64 – 256	0.03 – 0.05	-
Batu Besar	>256	0.04 – 0.07	-

Sumber : Aldridge & Garret, 1973.

Aliran pada saluran terbuka dapat diklasifikasikan berdasarkan kekentalan fluida (viskositas) dan gaya gravitasi. Perbandingan gaya-gaya akibat viskositas, gravitasi dan gaya inersia didefinisikan sebagai bilangan reynold (*Reynold number* = Re) yang ditulis sebagai berikut :

$$Re = \frac{v \cdot h}{\nu} \dots\dots\dots (4)$$

- Keterangan :
- Re = Reynold number
 - v = viskositas (m²/s)
 - h = panjang karakteristik (m)
 - V = kecepatan rata-rata aliran (m/s)

Untuk saluran terbuka, aliran dikatakan :

- Laminer jika $Re < 2000$
- Turbulen jika $Re > 2000$

II.3 Parameter Kualitas Air Sungai

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Pasal 1 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 115 Tahun 2003). Kualitas air dapat dinyatakan dengan parameter kualitas air. Parameter ini meliputi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis.

Parameter fisik menyatakan kondisi fisik air atau keberadaan bahan yang dapat diamati secara visual/kasat mata. Yang termasuk dalam parameter fisik ini adalah kekeruhan, kandungan partikel/padatan, warna, rasa, bau, suhu, dan sebagainya.

Parameter kimia menyatakan kandungan unsur/senyawa kimia dalam air, seperti kandungan oksigen, bahan organik (dinyatakan dengan BOD, COD, TOC), mineral atau logam, derajat keasaman, nutrient/hara, kesadahan, dan sebagainya.

Parameter mikrobiologis menyatakan kandungan mikroorganisme dalam air, seperti bakteri, virus, dan mikroba pathogen lainnya. Berdasarkan hasil pengukuran atau pengujian, air sungai dapat dinyatakan dalam kondisi baik atau cemar. Sebagai acuan dalam menyatakan kondisi tersebut adalah baku mutu air, sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001.

Dalam penelitian ini akan ditinjau parameter fisik kualitas air yakni Oksigen Terlarut (*Dissolve Oxygen*) dan Zat Padat Tersuspensi (*Total Suspended Solid*). Berikut adalah penjelasan mengenai kedua parameter tersebut :

II.3.1 Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen = DO*)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen = DO*) menyatakan kandungan oksigen yang terlarut di dalam air. Kemampuan air dalam melarutkan

oksigen sangat tergantung pada suhu air, tekanan gas oksigen dan kemurnian air.

DO dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, DO juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari proses aerasi dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000).

Aerasi didefinisikan sebagai pengaliran udara ke dalam air untuk meningkatkan kandungan oksigen dengan memancarkan air atau melewatkan gelembung udara ke dalam air. Sementara pada sungai, aerasi yang terjadi digolongkan sebagai aerasi permukaan yang didefinisikan sebagai sistem pemberian udara pada permukaan cairan. Dengan cara ini akan terjadi proses kelarutan udara sehingga terjadi proses difusi oksigen dari udara terhadap badan air/sungai.

Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut.

Pada lapisan permukaan, kadar oksigen akan lebih tinggi, karena adanya proses difusi antara air dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis. Dengan bertambahnya kedalaman akan terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, karena proses fotosintesis semakin berkurang dan kadar oksigen yang ada banyak digunakan untuk pernapasan dan oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik. Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kebutuhan oksigen untuk ikan dalam keadaan diam relatif lebih sedikit apabila dibandingkan dengan ikan pada saat bergerak. Jenis-jenis ikan tertentu yang dapat menggunakan oksigen dari udara bebas, memiliki daya tahan yang lebih terhadap perairan yang kekurangan DO (Wardoyo, 1978). Konsentrasi DO minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (*toksik*). Konsentrasi DO minimum ini

sudah cukup mendukung kehidupan organisme (Swingle, 1968). Idealnya, konsentrasi DO tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70 % (Huet, 1970). Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena DO berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik.

Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan domestik (rumah tangga).

Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan adanya zat pencemar yang dapat mengonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan anorganik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (hewan dan manusia), sampah organik, bahan-bahan buangan dari industri dan rumah tangga.

Menurut Connel and Miller (1995), sebagian besar dari zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik. Menurut Lee *et al.* (1978), kandungan oksigen terlarut pada suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan, seperti terlihat pada Tabel II.3.

Tabel II.3. Status Kualitas Air Berdasarkan Kandungan DO

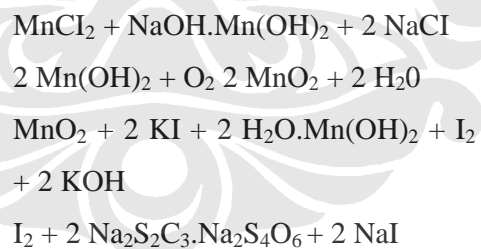
No	Kadar oksigen terlarut (mg/l)	Status kualitas air
1	> 6,5	Tidak tercemar - tercemar sangat ringan
2	4,5 – 6,4	Tercemar ringan
3	2,0 – 4,4	Tercemar sedang
4	< 2,0	Tercemar berat

Sumber : Lee et al., 1978

Oksigen terlarut dapat dianalisis atau ditentukan dengan 2 macam cara, yaitu :

1. Metoda titrasi dengan cara Winkler

Metoda titrasi dengan cara Winkler secara umum banyak digunakan untuk menentukan kadar oksigen terlarut. Prinsipnya dengan menggunakan titrasi iodometri. Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditambahkan larutan $MnCl_2$ dan $NaOH - KI$, sehingga akan terjadi endapan MnO_2 . Dengan menambahkan H_2SO_4 atau HCl maka endapan yang terjadi akan larut kembali dan juga akan membebaskan molekul iodium (I_2) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji). Reaksi kimia yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :



2. Metoda elektrokimia

Cara penentuan oksigen terlarut dengan metoda elektrokimia adalah cara langsung untuk menentukan oksigen terlarut dengan alat DO meter. Prinsip kerjanya adalah menggunakan probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pada alat DO meter, probe ini biasanya menggunakan katoda perak (Ag) dan anoda timbal (Pb). Secara keseluruhan, elektroda ini dilapisi dengan membran

plastik yang bersifat semi permeable terhadap oksigen. Reaksi kimia yang akan terjadi adalah :



Aliran reaksi yang terjadi tersebut tergantung dari aliran oksigen pada katoda. Difusi oksigen dari sampel ke elektroda berbanding lurus terhadap konsentrasi oksigen terlarut. Penentuan oksigen terlarut (DO) dengan cara titrasi berdasarkan metoda Winkler lebih analitis apabila dibandingkan dengan cara alat DO meter. Hal yang perlu diperhatikan dalam titrasi iodometri ialah penentuan titik akhir titrasinya, standarisasi larutan tiosulfat dan pembuatan larutan standar kaliumbikromat yang tepat. Dengan mengikuti prosedur penimbangan kaliumbikromat dan standarisasi tiosulfat secara analitis, akan diperoleh hasil penentuan oksigen terlarut yang lebih akurat. Sedangkan penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter, harus diperhatikan suhu dan salinitas sampel yang akan diperiksa. Peranan suhu dan salinitas ini sangat vital terhadap akurasi penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter. Disamping itu, sebagaimana lazimnya alat yang digital, peranan kalibrasi alat sangat menentukan akurasi hasil penentuan.

II.3.2 Zat Padat tersuspensi (*Total Suspended Solid = SS*)

Zat padat tersuspensi (*Total Suspended Solid = TSS*) adalah bahan-bahan tersuspensi yang digolongkan sebagai partikel diskrit (diameter >1 μ m) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 μ m. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Masuknya TSS ke dalam perairan dapat menimbulkan kekeruhan air. Hal ini menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primer perairan menurun, dan pada akhirnya dapat menyebabkan terganggunya keseluruhan rantai makanan.

Konsentrasi TSS yang tinggi akan mempengaruhi biota di perairan. Menurut Fardiaz (1992), TSS akan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air, sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis dan *turbidity* (kekeruhan) air juga semakin meningkat.

Mahida (1993) mendefinisikan *turbidity* (kekeruhan) sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekерuhan perairan umumnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel suspensi seperti tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik terlarut, bakteri, plankton dan organisme lainnya. Kekерuhan perairan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air (Davis dan Cornwell, 1991).

Kekeruhan yang terjadi pada perairan seperti sungai lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi berupa koloid dan partikel-partikel halus. Kekерuhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi seperti pernafasan dan daya lihat organisme akuatik serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Menurut Koesoebiono (1979), pengaruh kekeruhan yang utama adalah penurunan penetrasi cahaya secara mencolok, sehingga aktivitas fotosintesis fitoplankton dan alga menurun, akibatnya produktivitas perairan menjadi turun. Di samping itu (Effendi, 2003), menyatakan bahwa tingginya nilai kekeruhan juga dapat menyulitkan usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air.

Kekeruhan perairan sangat dipengaruhi oleh keberadaan TSS, zat-zat terlarut, partikel-partikel dan warna air. Pengaruh kandungan lumpur yang dibawa oleh aliran sungai dapat mengakibatkan tingkat kekeruhan air meningkat, sehingga dapat menurunkan nilai produktivitas perairan (Nybakken, 1992).

Zat padat tersuspensi dapat dianalisis atau ditentukan secara gravimetri. Metode ini digunakan untuk menentukan residu tersuspensi yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Metode ini tidak termasuk penentuan bahan yang mengapung, padatan yang mudah

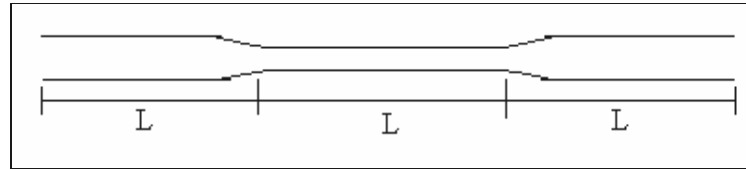
menguap dan dekomposisi garam mineral. Prinsip pengujian SS dengan metode ini adalah dengan penyaringan contoh uji yang telah homogen dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika padatan tersuspensi menghambat saringan dan memperlama penyaringan, diameter pori-pori saringan perlu diperbesar atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

II.4 Kontraksi Penampang Sungai

II.4.1 Struktur Hidrolika

Suatu sungai sepanjang alirannya tentu memiliki dimensi yang berbeda-beda. Namun untuk pemenuhan kebutuhan manusia seringkali rekayasa terhadap dimensi sungai dilakukan. Sungai diasumsikan sebagai saluran dengan dimensi yang besar, sehingga rekayasa yang dilakukan berdasarkan pada struktur hidrolikanya. Misalnya, mengurangi luas penampang sungai dengan harapan mempercepat kecepatan dan debit aliran. Rekayasa sungai ini menerapkan persamaan kontinuitas dan momentum tergantung pada asumsi yang diterapkan. Untuk kondisi aliran yang tunak dan seragam, persamaan kontinuitas dapat menggambarkan hubungan debit yang sama pada dua penampang yang berbeda. Bila terjadi kontraksi penampang dan aliran diasumsikan tunak, maka debit di hulu sama dengan debit di hilir. Dari hubungan ini, bila luas penampang di hulu adalah ($A_{\text{hulu}} \text{ m}^2$) dan kecepatan adalah ($v_{\text{hulu}} \text{ m/s}$), maka dapat direncanakan kecepatan aliran di hilir serta dimensi penampang di hilir.

II.4.2 Pengaruh Kontraksi Penampang terhadap Kualitas DO dan TSS Air Sungai



Gambar II.2 Kontraksi Penampang Sungai

Adanya kontraksi penampang pada satu segmen sungai tentunya akan mengakibatkan kecepatan aliran di hilir menjadi meningkat dibanding kecepatan di hulu. Pengaruh peningkatan kecepatan berdampak pada berubahnya nilai bilangan Reynold (Re) sungai. Kecepatan aliran sebanding dengan nilai Re (Wiggert, 1991). Sehingga, apabila kecepatan bertambah maka nilai Re akan bertambah. Namun karena luas penampang juga berubah (penampang menyempit), maka akan menyebabkan perubahan Re . Sementara viskositas air bergantung pada suhu. Peningkatan kecepatan akan menyebabkan pergerakan air meningkat pula, adanya gerakan tersebut akan menimbulkan energi tambahan. Penambahan energi ini akan menimbulkan panas atau dengan kata lain terjadi peningkatan suhu. Adanya peningkatan suhu akan merubah nilai viskositas (Wiggert, 1991). Dengan demikian, perubahan dimensi penampang akan mempengaruhi semua faktor Re sehingga nilai Re meningkat. Peningkatan nilai Re mengindikasikan jenis aliran. Untuk saluran terbuka, bila $Re < 2000$ maka jenis aliran adalah laminer sementara untuk $Re > 2000$ jenis aliran adalah turbulen (Wiggert, 1991).

Aliran yang turbulen akan mempengaruhi kualitas air sungai. Turbulensi yang terjadi akan mengakibatkan proses *mixing* antara air sungai dengan partikel-partikel lain, misalnya lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi ataupun partikel-partikel organik dari limbah domestik yang dibuang manusia. Adanya proses *mixing* ini akan meningkatkan konsentrasi oksigen dari proses aerasi. Dari proses *mixing* yang terjadi, akan mengganggu stabilitas air sehingga pergerakan air seakan menciptakan gelombang yang lebih besar. Pergerakan ini akan menangkap oksigen dari udara bebas. Oksigen yang terikat kemudian menjadi gelembung udara dan akan terlarut dalam

air menjadi oksigen terlarut (DO). Dengan demikian, terjadilah peningkatan konsentrasi DO akibat aerasi.

Peningkatan turbulensi akibat perubahan kecepatan menyebabkan partikel yang terangkut aliran akan bertambah dan tingkat kekeruhan meningkat. Kekeruhan yang meningkat mengindikasikan konsentrasi TSS dalam aliran meningkat. Kondisi ini akan terjadi pada aliran dengan kecepatan ($v \geq 0,6$ m/s). Pada kecepatan ini, kekuatan air akan mampu mengangkut partikel tersuspensi yang tergolong partikel diskrit (Chanson, 2004).

Reduksi suspensi dalam kurun waktu yang lama akan menciptakan kestabilan aliran pada segmen yang mengalami kontraksi. Dengan demikian tingkat kekeruhan juga akan menurun sebanding dengan waktu. Oleh karenanya pada segmen yang mengalami kontraksi, konsentrasi TSS di wilayah hilir segmen akan lebih rendah dibanding wilayah hulu. Menurunnya sedimentasi akan meningkatkan kecerahan air mulai dari titik paling hilir segmen. Dengan meningkatnya kecerahan, maka aktivitas fotosintesis biota sungai akan meningkat. Akibatnya O_2 yang dihasilkan akan meningkat pula.

Sementara, apabila kecepatan ($v < 0,6$ m/s), maka air tidak mampu mengangkut partikel diskrit. Akibatnya akan terjadi sedimentasi di sungai tersebut. Sedimentasi akan mempengaruhi sungai baik secara kuantitas maupun kualitas. Secara kuantitas dimensi sungai akan berkurang, akibatnya debit yang dihasilkan berkurang pula. Secara kualitas, sedimentasi dari jasad renik akan mempercepat pertumbuhan mikroorganisme. Akibatnya terjadi peningkatan BOD_5 .

BOD_5 merupakan salah satu indikator pencemaran organik pada suatu perairan. Perairan dengan nilai BOD_5 tinggi mengindikasikan bahwa air tersebut tercemar oleh bahan organik. Lee *et al.* (1978) menyatakan bahwa tingkat pencemaran suatu perairan dapat dinilai berdasarkan nilai BOD_5 -nya, seperti disajikan pada Tabel II.4.

Tabel II.4. Status Kualitas Air Berdasarkan Nilai BOD_5

No	Nilai BOD_5 (ppm)	Status kualitas air
1	$\leq 2,9$	Tidak tercemar

2	3,0 – 5,0	Tercemar ringan
3	5,1 – 14,9	Tercemar sedang
4	≥15	Tercemar berat

Sumber : Lee et al., 1978

Selain BOD₅, kadar bahan organik juga dapat diketahui melalui nilai COD. (Effendi, 2003) menggambarkan COD sebagai jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologi maupun yang sukar didegradasi menjadi CO₂ dan H₂O. Berdasarkan kemampuan oksidasi, penentuan nilai COD dianggap paling baik dalam menggambarkan keberadaan bahan organik baik yang dapat didekomposisi secara biologis maupun yang tidak.

Peningkatan kebutuhan oksigen akan mereduksi konsentrasi oksigen terlarut (DO) dalam air. Semakin banyak organisme yang hidup dalam suatu ekosistem sungai, maka kebutuhan akan oksigen juga akan meningkat akibatnya konsentrasi DO menurun.

II.5 Self Purification

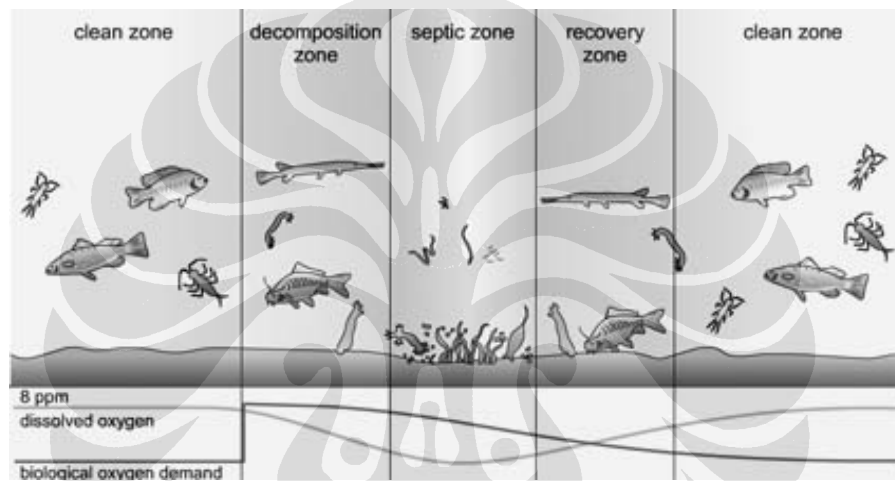
Self purification merupakan suatu proses alami dimana sungai mempertahankan kondisi asalnya melawan bahan – bahan asing yang masuk kedalam sungai. Menyempurnakan metode buatan dari pengelolaan kualitas air dan menyangkut proses fisik kimia dan biologis. Bila penambahan pencemar di hilir sungai tidak berlebihan, air akan membersihkan diri dengan sendirinya (*self-cleansing*). Proses ini tidak berlaku untuk pencemar kategori senyawa organik non biodegradabel atau logam.

Pada sungai yang tidak tercemar, oksigen terlarut memiliki kadar sekitar 8 ppm dan BOD dalam keadaan yang rendah. Namun pada kondisi sungai yang tercemar, misalnya sungai yang mengalir di kawasan pemukiman dan mendapat beban pencemar dari aliran limbah domestik. Limbah domestik sebagian besar terdiri dari kandungan organik. Kandungan organik ini membutuhkan oksigen untuk terdekomposisi. Karena itu BOD akan meningkat dan mempengaruhi DO di hilir sungai.

Seiring dengan mengalirnya air ke hilir, jumlah bakteri meningkat. Akibatnya ketersediaan DO pada air sungai menurun. Pada titik tertentu pencemar organik terdekomposisi dan terjadi *recovery* oksigen atau DO kembali meningkat sebagai sumbangan dari atmosfer (aerasi) dan tanaman air.

Mekanisme *Self Purification* berlangsung dalam beberapa tahapan :

1. *Clean Zone*
2. *Decomposition Zone*
3. *Septic Zone*
4. *Recovery Zone*



Gambar II.3 Tahapan dalam *Self Purification*

Kondisi oksigen terlarut pada zona bersih (*Clean Zone*) berada pada 8 ppm, yang merupakan konsentrasi normal DO di perairan dan BOD pada kondisi yang rendah. Pada zona ini hewan – hewan air yang membutuhkan oksigen dalam konsentrasi normal tumbuh dengan baik. Hewan hewan ini akan mati bila konsentrasi oksigen menurun.

Dengan adanya pencemar yang memasuki badan air, peningkatan BOD terjadi seiring dengan penurunan konsentrasi oksigen. Zona ini disebut dengan zona dekomposisi (*Decomposition Zone*) dimana terjadi dekomposisi bahan organik oleh bakteri. Populasi bakteri di zona ini meningkat. Hewan yang dapat tumbuh adalah hewan dengan kebutuhan oksigen yang rendah, seperti beberapa jenis ikan dan lintah.

Zona septik (*Septic Zone*) terjadi pada saat keberadaan oksigen dibawah 2 ppm. Ikan akan menghilang atau pindah dari zona ini karena ketidaksesuaian dengan kebutuhan oksigennya. Pada beberapa bagian kehidupan yang terdapat pada zona ini adalah cacing lumpur, jamur dan bakteri anaerobik. Bakteri berada pada populasi yang tinggi pada zona ini.

Seiring dengan waktu dan jarak dari lokasi pencemaran sungai mengalami peningkatan konsentrasi oksigen yang berasal dari penangkapan udara oleh air, aerasi dan tanaman air. Selain itu bahan organik mengalami penurunan setelah mengalami dekomposisi sehingga BOD menurun. Zona ini disebut (*recovery zone*), pada zona ini hewan - hewan yang tidak membutuhkan oksigen tinggi kembali dapat ditemui dan hidup disini dan populasi bakteri menurun. Zona bersih kembali tercapai setelah *recovery* selesai. Hewan – hewan air dapat tumbuh kembali dengan baik.