

TINGKAT KOROSIFITAS AIR TERHADAP INFRASTRUKTUR SUMBERDAYA AIR MENURUT DIN 4030 DAN LANGELIER SATURATION INDEX

THE WATER CORROSION LEVEL TOWARDS WATER RESOURCES INFRASTRUCTURE ACCORDING TO DIN 4030 AND LANGELIER SATURATION INDEX

Moelyadi Moelyo

Balai Lingkungan Keairan
Pusat Litbang SDA, Jl. Ir.H. Juanda No. 193 Bandung
email: moelyadimoelyo@yahoo.com

Diterima: 13 Februari 2012; Disetujui:

ABSTRAK

Terjadinya perusakan infrastruktur sumberdaya air oleh efek korosi, disebabkan terjadinya perubahan sifat kimia, fisika dan biologi dalam air. Fenomena ini perlu diteliti secara mendalam, namun secara teoritis dapat dinyatakan sebagai dampak dari pencemaran air dan fenomena lingkungan keairan yang mampu mengubah karakteristik air menjadi bersifat korosif. Indikasi korosifitas air dapat dilihat dengan makin meluasnya perusakan oleh air terhadap material yang ada. Penilaian tingkat korosifitas air dapat dilakukan berdasarkan beberapa metode, diantaranya kriteria korosifitas pada beton, perhitungan Langelier Saturation Index (LSI), Standard Methods for Examination Water and Wastewater dan penentuan kehilangan metal serta laju korosi. LSI merupakan suatu indeks yang dikaitkan dengan keasaman aktual dari air terhadap keasaman air setelah terjadinya penjenuhan oleh kapur (CaCO_3). Penelitian yang dilakukan di Waduk Sermo, pada lokasi hulu, tengah, hilir luasan waduk serta outlet waduk, menunjukkan bahwa air Waduk Sermo belum termasuk kategori air yang dapat merusak beton, karena parameter pH, CO_2 agresif, amonia, magnesium dan sulfat yang masih di bawah kriteria yang dapat merusak beton (DIN-4030, 1969). Akan tetapi, angka LSI hampir di semua lokasi dan titik pengamatan waduk menunjukkan angka LSI negatif, yang berarti air cenderung bersifat korosif sedikit terutama air bagian dasar waduk.

Kata kunci: Korosifitas air, fenomena, Langelier Saturation Index, DIN-4030, CO_2 agresif

ABSTRACT

Water resources infrastructure destruction by the effects of corrosion, caused by changes in characteristic of chemistry, physics and biology in the water. This phenomenon needs to be further investigated, but theoretically can be expressed as a result of water pollution and environmental phenomena that can change the characteristics of water becomes corrosive. The indications of water corrosion can be seen widely damaged by water to the existing material. Assessment of water corrosion rate can be done by several methods, including the criteria for corrosion in concrete, the calculation of Langelier Saturation Index (LSI), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater and determination of metal loss and corrosion rate. The LSI is an index that is associated with the actual acidity of the water against the acidity of the water after the saturation by limestone (CaCO_3). The study conducted in upstream, midstream, downstream area and reservoir outlet of the Sermo Reservoir showed that water can not be categorized as water that can damage the concrete, because the parameters of pH, aggressive CO_2 , ammonia, magnesium and sulfate are still under criteria that can damage concrete (DIN-4030, 1969). However, the value of LSI in almost all locations and reservoir observation points indicate negative LSI value, which means the water tends to be slightly corrosive particularly at the water of the bottom of reservoir.

Keywords: Water corrosion, phenomena, Langelier Saturation Index, DIN-4030, Aggressive CO_2

PENDAHULUAN

Sejalan dengan berbagai kegiatan manusia pada suatu daerah aliran sungai, masalah pencemaran air sungai dapat menjadi lebih kompleks dengan adanya pembuangan limbah yang mengandung senyawa tertentu yang berpengaruh terhadap perubahan karakteristik air dan perilaku biota airnya. Senyawa yang bersumber dari limbah domestik, pertanian, industri, pertambangan dan sebagainya apabila dikelompokkan terdiri atas senyawa organik dan senyawa anorganik.

Perubahan karakteristik air dapat terjadi juga karena fenomena lingkungan keairan, dalam hal ini material yang berasal dari bumi yang terdiri dari senyawa kimiawi menjadi material dasar mahluk hidup maupun tidak hidup dalam sumber air permukaan. Proses lingkaran perubahan kimiawi ini disebut sebagai siklus biogeokimia.

Pada saat ini telah terindikasi, terjadinya perubahan fisik bahkan kerusakan infrastruktur sumberdaya air yang disebabkan oleh efek korosi akibat proses kimia, fisika dan biologi dalam air. Indikasi tersebut sampai saat ini belum pernah diteliti secara mendalam, namun secara teoritis dapat dinyatakan sebagai dampak dari pencemaran air bahkan fenomena alam lingkungan keairan mampu mengeluarkan zat-zat yang bersifat korosif bagi lingkungan keairan khususnya terhadap sarana prasarana ke-PU-an.

Pokok permasalahan yang ada sekarang ini adalah teridentifikasinya sumber-sumber air yang dapat bersifat korosif terhadap infrastruktur sumberdaya air, seperti bendung, bendungan, pintu air, saluran irigasi dan sebagainya. Perubahan karakteristik air yang menyebabkan korosi ini, antara lain disebabkan terjadinya proses fisika, kimia dan biologi seperti efek pH, gas terlarut, kesadahan, peningkatan temperatur, garam terlarut, ion sulfida, reaksi asam-basa, pelumpuran dan vegetasi tanah serta siklus biogeokimia.

Lingkup kegiatan penelitian ini, dilakukan untuk mendapatkan data dan informasi faktual juga indikasi terjadinya proses korosifitas air pada infrastruktur sumberdaya air. Kegiatan penelitian meliputi: 1) presurvei penentuan lokasi penelitian beberapa waduk di Pulau Jawa; 2) survei dan pengukuran; 3) pengambilan contoh air; 4) pemeriksaan kualitas air dan identifikasi korosifitas di lapangan dan laboratorium; 5) kajian korosifitas air; 6) evaluasi dan pelaporan.

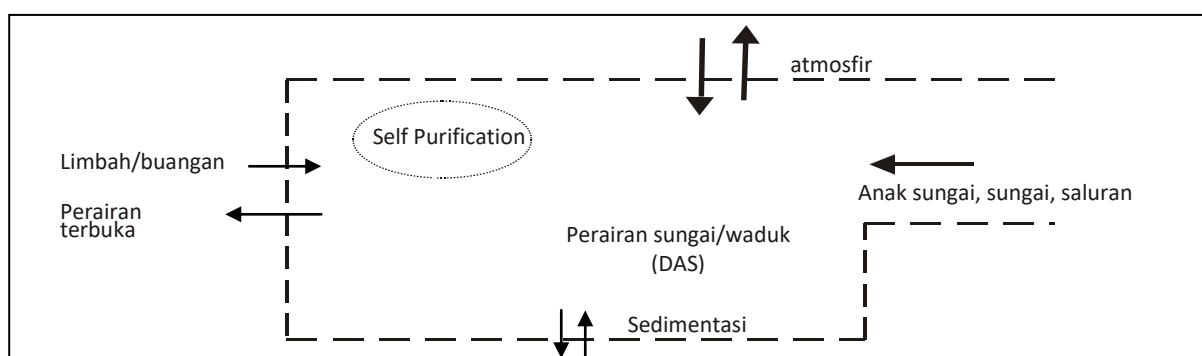
Kerangka pemikiran dalam pelaksanaan penelitian dibedakan atas kegiatan: 1) upaya pengendalian korosifitas air terkait perubahan karakteristik air (preventif); dan 2) upaya pengkajian dan penerapan teknologi proteksi korosi (kuratif). Berdasarkan jenisnya, pola senyawa yang dapat menyebabkan korosi pada sumber air dibedakan atas sumbernya yaitu, pencemaran air dari suatu sumber pencemaran (limbah/buangan) dan fenomena lingkungan keairannya (proses intern sumber air, atmosfer, pelumpuran, dampak lingkungan lain) seperti diilustrasikan dalam skema diatas (Gambar 1).

Tujuan penelitian

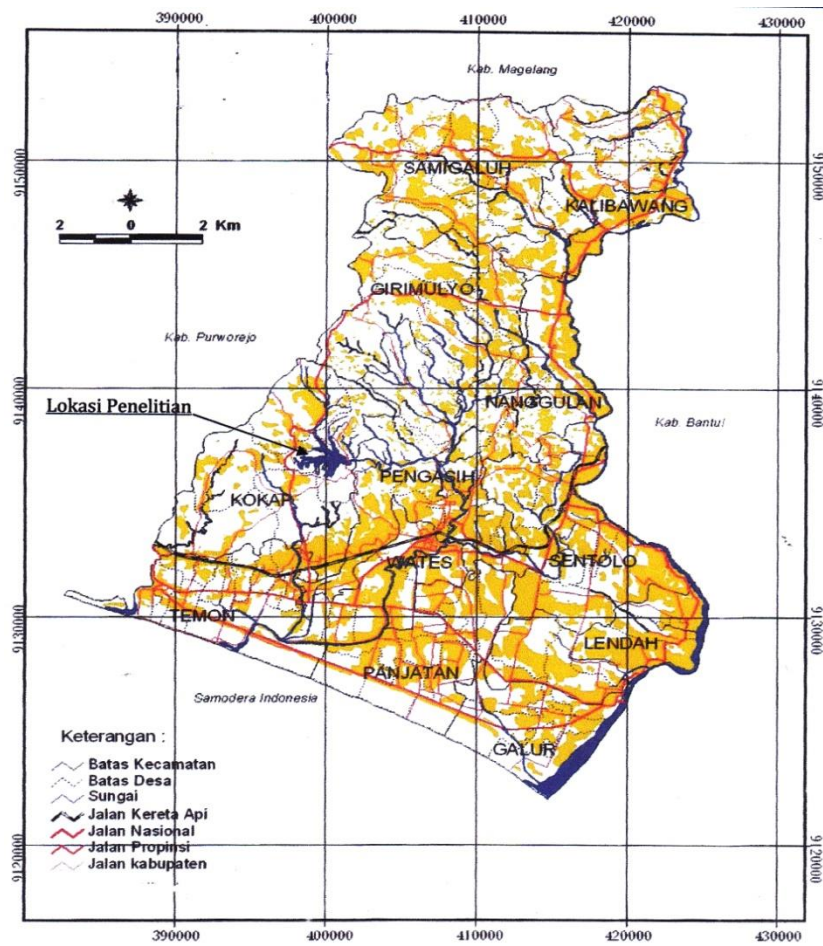
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penyelidikan karakteristik air secara fisika, dan kimia pada Waduk Sermo dan kemungkinan penurunan mutu airnya sehingga dapat diketahui kecenderungan air menjadi bersifat korosif. Penilaian korosifitas air dilakukan berdasarkan kriteria korosifitas air pada beton menurut DIN 4030 (1969) dan perhitungan Indeks Langelier Mc.Neely et.al (1979).

Lokasi kegiatan

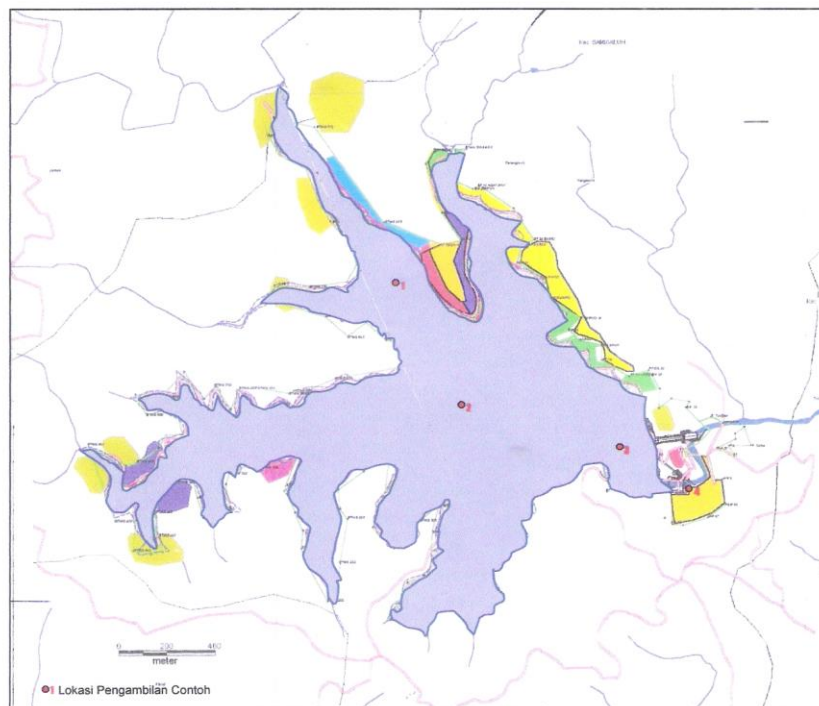
Kegiatan penelitian ini dilakukan selama periode bulan Maret – November 2009, berlokasi di Waduk Sermo (Gambar 3) pada daerah aliran Sungai Progo, Sub DAS Serang, Sub Sub DAS Ngrancah di Provinsi DI Jogjakarta (Gambar 2). Sedangkan kajian data dan analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Lingkungan Keairan, Pusat Litbang Sumber Daya Air di Bandung, Provinsi Jawa Barat.



Gambar 1 Skema proses perubahan karakteristik sumber air



Gambar 2 Lokasi penelitian korosifitas air Waduk Sermo

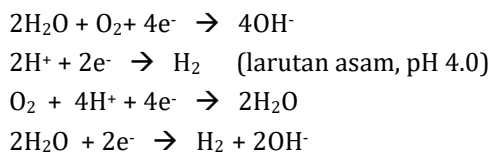


Gambar 3 Titik pengambilan contoh air di Waduk Sermo

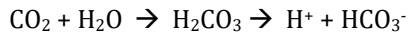
KAJIAN PUSTAKA

Kata korosi berasal dari bahasa latin “Corrodere” yang artinya perusakan logam atau berkarat, yaitu suatu proses degradasi atau deteorisasi atau perusakan material yang terjadi disebabkan oleh pengaruh lingkungan di sekelilingnya. Namun demikian, dalam kondisi riil di lapangan definisi korosi dapat dinyatakan sebagai: 1) perusakan material tanpa perusakan mekanis; 2) kebalikan dari metalurgi ekstraktif; 3) proses elektrokimia dalam mencapai keseimbangan termodinamika suatu sistem. Korosi merupakan sistem termodinamika material (diantaranya logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai keseimbangan. Kondisi dapat dikatakan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lainnya yang lebih stabil.

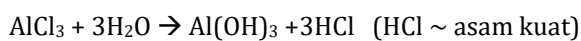
Korosi dalam kehidupan dan lingkungan sehari-hari tampak pada kerusakan panel logam, dalam bentuk lubang atau garis, misalnya penangas air yang sudah mulai bocor, pipa dan peralatan rumah tangga berubah warna menjadi kecoklatan, sebagai hasil destruktif suatu reaksi kimia dengan lingkungannya. Dalam sumber air proses korosi terjadi karena terbentuk larutan yang bersifat asam hasil reaksi reduksi dan oksidasi kimiawi, seperti proses reaksi reduksi oksigen terlarut sebagai efek pH dalam air.



Air sadah umumnya mengandung kation kalsium dan magnesium terlarut yang dapat bersifat korosif rendah, karena dilindungi karbonat yang berbentuk lapisan film karbonat pada permukaan air. Karbon dioksida (CO₂) terlarut dalam air membentuk asam karbonat (H₂CO₃) dan mereduksi pH, karena disosiasi akan membentuk H⁺ dan ion bikarbonat, HCO₃⁻.



Demikian pula halnya, dengan sumber air yang mendapat panas secara periodik. Peningkatan suhu berperan dalam proses korosi, karena semakin tinggi suhu, maka kelarutan oksigen akan berkurang. Sumber air yang mengandung garam-garam terlarut, akan terjadi proses percepatan korosi, karena garam-garam seperti AlCl₃, NiSO₄, MnCl₂, dan FeCl₂ dalam air terhidrolisis membentuk senyawa asam terlarut. Sebagai contoh model reaksi hidrolisis garam terlarut adalah sebagai berikut:



Hal sama terjadi pada garam-garam FeCl₃, CuCl₂ dan HgCl₂, namun untuk garam-garam ini selain menghasilkan asam kuat pada proses hidrolisis juga menghasilkan pasangan redoks yang mengakselerasikan korosifitas air karena ada tambahan energi oksidasi (Fe³⁺ + e⁻ → Fe²⁺).

Gas CO₂ yang berada pada permukaan air waduk akan mengalami perubahan menjadi dua spesi, yaitu karbon organik partikulat (POC) dan karbon organik terlarut (DOC). Karbon organik partikulat akan tenggelam ke dasar waduk dan sebagian terangkat oleh arus yang kemudian dimakan oleh biota plankton.

Penilaian tingkat korosifitas air yang diperlihatkan dengan meluasnya perusakan material bangunan air, dilakukan menurut Standar DIN 4030 (1969) dan perhitungan indeks saturasi Langerlier menurut McNeely et.all, (1979) dan Standard Methods for Examination Water and Wastewater (2330 B AWWA, WPCP, APHA, 2005). Penentuan kehilangan metal serta laju korosi dilakukan menurut ASTM 2688-90.

Indeks Saturasi Langerlier, merupakan suatu indeks yang dikaitkan dengan tingkat keasaman jenuh dari air (pH_s) dan derajat keasaman air tersebut (pH), setelah terjadinya penjumlahan oleh kapur CaCO₃. Indeks ini biasanya digunakan untuk penilaian sifat korosi air terhadap logam bukan logam mulia (periksa Tabel 1).

Persamaan empirik yang digunakan untuk menghitung Indeks Saturasi Langerlier (IS) adalah sebagai berikut :

$$IS = pH - pH_s \tag{1}$$

keterangan :
 IS, Indeks saturasi;
 pH, derajat keasaman (pH) yang diukur;
 pH_s, pH saturasi, bila terjadi kesetimbangan garam CaCO₃ dengan ion Ca²⁺ dan ion HCO₃⁻

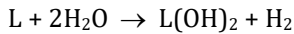
Tabel 1 Tingkat korosifitas air berdasarkan Indeks Saturasi Langerlier (LSI)

Indeks Saturasi (IS)	Tingkat Korosifitas Air
< -0,75	Air bersifat korosif dan berpotensi korosi sangat kuat
-0,75 ≤ IS < 0	Air bersifat korosif dan potensi korosi lemah
0	Air bersifat stabil, tidak bersifat korosif dan tidak membentuk kerak
0 < IS ≤ 0,5	Air bersifat membentuk kerak dengan potensi lemah
> 0,75	Air bersifat membentuk kerak dengan potensi kuat

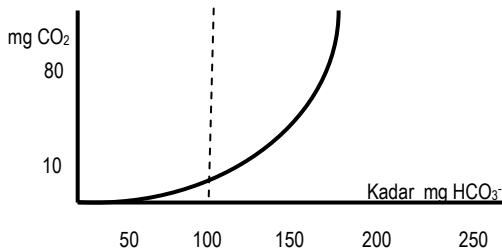
Sumber : Mc. Nelly et.al (1979)

Korosi dalam air

Proses korosi oleh air terhadap infra struktur sumber daya air seperti pada logam (bukan logam mulia) akan membentuk reaksi :



reaksi akan meningkat karena terkena oksidasi oleh udara : $2L + 3H_2O + 3/2O_2 \rightarrow 2L(OH)_3$. Reaksi ini berlangsung pada permukaan karena O_2 berdifusi ke dalam air. Untuk air pada kedalaman tertentu O_2 sangat kurang sehingga dapat membentuk hidroksidanya $L(OH)_2$ contohnya $Fe(OH)_2$.



Gambar 4 Tingkat agresifitas air

Air permukaan yang mengandung CO_2 akan cepat membentuk H_2CO_3 dan akan mengurai menjadi HCO_3^- seperti diperlihatkan reaksi : $H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$, maka tingkat agresifitas air meningkat apabila HCO_3^- terus meningkat seperti diperlihatkan pada Gambar 4 di atas.

$$pH_s = pK_2 - pK_s + p(Ca^{2+}) + p(HCO_3^-) + 5 pF_m \quad 2)$$

keterangan:

K_2 , konstanta disosiasi ke-2 untuk asam karbonat pada suhu air;

K_s , konstanta hasil kelarutan $CaCO_3$ pada suhu air; (Ca^{2+}) = konsentrasi ion Ca (mol/L); F_m koef aktifitas unsur monovalensi pada suhu yang spesifik.

Persamaan empirik lain yang berhubungan dengan potensi keberadaan ion kalsium dalam air, sebagai berikut:

$$Ca^{2+} = Ca_t - Ca_{ip} \quad 3)$$

keterangan:

Ca_t , total kalsium (gram-mol/L);

Ca_{ip} , asosiasi kalsium dengan ion seperti $CaHCO_3^-$, $CaSO_4^{2-}$, $CaOH^-$

Kalsium yang berasosiasi dengan pasangan ion lain dalam air sangat tidak mungkin untuk membentuk garam kapur kalsium karbonat $CaCO_3$, untuk prediksi jumlah ion karbonat HCO_3^- dalam air digunakan persamaan empirik berikut :

$$[HCO_3^-] = \frac{Alk_t - Alk_0 + 10^{(pF_m - pH)} - 10^{(pH + pF_m - Kw)}}{1 + 0.5 \times 10^{(pH - pK_2)}} \quad 4)$$

keterangan:

Alk_t , total alkalinitas yang ditetapkan dengan titrasi asam sampai titik akhir sebagai asam karbonat; Alk_0 , alkalinitas yang dikontribusi oleh NH_3^0 , $H_3SiO_4^-$, HPO_4^{2-} , $B(OH)^4-$, CH_3COO^- , HS^- , dan pasangan ion $CaHCO_3^+$ dan $MgOH^+$, kontribusi ini relatif kecil bila dibandingkan dengan kontribusi komponen normal seperti HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- dan H^+ .

Metode lain yang dapat digunakan untuk penilaian tingkat korosifitas sumber air adalah dengan cara membandingkan hasil analisis parameter kualitas air seperti pH, NH_4 , SO_4 , dan Mg terhadap Kriteria DIN 1969 yang umum digunakan untuk penilaian tingkat korosifitas air terhadap bangunan beton seperti umumnya infrastruktur sumber daya air.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan, dengan melakukan berbagai pengukuran baik di lapangan maupun di laboratorium. Metodologi yang digunakan, secara umum diuraikan menurut tahapan kerja, berikut: 1) pengumpulan data dan studi literatur; 2) survei dan pengambilan contoh air; 3) pemeriksaan kualitas air di lapangan; 4) analisis kualitas air di laboratorium; 5) perhitungan dan evaluasi, dan 6) pelaporan hasil penelitian.

- 1) Pengumpulan data dan studi literatur
Pengumpulan data dan studi literatur sebagai pendukung penelitian sangat diperlukan, untuk bahan kajian dalam pemecahan masalah dan penilaian akhir penelitian. Data sekunder diperoleh melalui wawancara, data dan informasi dari lingkungan Ditjen SDA Kem. PU, Perum Jasa Tirta, Pemda, BPLHD, Univ/PT, dan dinas terkait lain.
- 2) Pengambilan contoh air
Pengambilan contoh air Waduk Sermo dilakukan pada periode bulan Maret - November 2009. Contoh air diambil di bagian hulu, tengah, hilir masing-masing pada kedalaman tertentu dan pada permukaan terowongan outlet waduk. Pengambilan contoh dilakukan sesuai Metode Pengambilan Contoh Air SNI 6989.57-2008.
- 3) Pemeriksaan kualitas air di lapangan
Pemeriksaan di lapangan dilakukan terhadap parameter-parameter yang tidak stabil, cepat berubah dan tidak dapat diawetkan seperti diuraikan dalam Tabek 2. Parameter-parameter yang di periksa di lapangan ini antara lain: temperatur, pH, alkalinitas, asiditas, DHL dan oksigen terlarut.

- 4) Pengukuran kualitas air
 Pengukuran kualitas air meliputi parameter pH, suhu, karbon dioksida agresif, oksigen terlarut, kesadahan, residu terlarut, ion sulfat, magnesium dan amonia dilakukan berdasarkan metode analisis yang telah baku, yaitu: (i) Standar Nasional Indonesia (SNI), Mengenai Kualitas Air; (ii) *Standard Methods for Water and Wastewater Analysis*, APHA/AWWA, edisi 21, 2005; (iii) *American Standard for Testing Material* (ASTM, 1990); (iv) DIN-4030, 1969; (v) Indeks Saturasi Langelier (LSI), menurut McNeely et.al, 1979
- 5) Kajian Langelier Saturation Index (LSI)
 Kajian nilai LSI (Mc.Neely, 1979) dilakukan berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas air waduk, yaitu mengurangi besar pH pengukuran dengan pH saturasi, setelah kesetimbangan ion Ca^{2+} dan HCO_3^- dari garam $CaCO_3$ terjadi.
- 6) Evaluasi data dan perhitungan
 Evaluasi tingkat korosifitas air didasarkan pada kriteria DIN-4030, LSI dari hasil analisis kualitas air di lapangan dan di laboratorium..
 Pengolahan data kualitas air dilakukan untuk penilaian dan analiisis pemanfaatan air, dengan memperhatikan kecenderungan korosifitas air dan mutu airnya.
- 7) Pemeriksaan parameter korosifitas
 Pemeriksaan parameter korosifitas air dilakukan sesuai dengan Standar DIN-4030, sehingga parameter yang diukur untuk korosifitas air meliputi pH, alkaliniti, asiditi, magnesium, sulfat, klorida, nilai permanganat dan CO_2 agresif periksa Tabel 3). Disamping itu, diperlukan pula data hasil pemeriksaan total zat padat terlarut (TDS) untuk menunjang perhitungan angka LSI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Waduk Sermo adalah 157 ha, air waduk berasal dari anak Sungai Ngrancah, Sub DAS. Serang pada DAS Progo dan terletak di Kabupaten Sleman Provinsi DI Yogyakarta. Air Waduk Sermo digunakan sebagai sumber baku air minum, pertanian dan perikanan (keramba ikan). Pemanfaatan air waduk sebagai sumber baku air minum untuk intake PDAM, telah dilakukan sejak tahun 2006 dan beroperasi selama 7 jam/hari dengan kapasitas 30 L/s. Mulai tahun 2008, pemanfaatan air bertambah 20 L/s, yang digunakan untuk melayani kebutuhan air minum masyarakat Kecamatan Kokap dan Kecamatan Pengasih. Pada bulan Januari 2005, pemanfaatan air Waduk Sermo untuk budidaya ikan keramba terganggu karena terjadi fenomena alam, berupa angin puting beliung yang membuat keramba ikan terbawa arus sampai

200 m yang berdampak pada putusnya sistem perpipaan pada intake PDAM.

Indikasi korosifitas air waduk telah tampak pada bagian dasar waduk, yaitu mengeluarkan gas berbau H_2S yang memberikan dampak korosi pada bangunan waduk khususnya pada terowongan air. Menurut informasi, gejala korosifitas air ini mulai tampak dan terjadi sejak beroperasi tahun 1997. Berbagai upaya telah dilakukan untuk pengendalian korosi pada dinding terowongan diantaranya dengan pengecatan setiap tahun, menggunakan cat khusus yang umum digunakan untuk kapal (*Epoxy* atau *Enamel*).

Tabel 2 Metode pemeriksaan kualitas air di lapangan

Parameter	Metode Analisis	SNI
Suhu	Thermoneter Raksa	SNI 06-6989.1.23.2004
pH	Potensiometri	SNI 06-6989.11.2004
Alkaliniti	Titrimetri	SNI 06-2420-1991
Asiditi	Titrimetri	SNI 06-2422-1991
Daya Hantar Listrik	Elektroda Konduktimetri	SNI 06-6989.1.2004
Oksigen terlarut	Iodometri Modifikasi Azida	SNI 06-6989.14.2004

Tabel 3 Parameter dan metode pengujian korosifitas air

No.	Parameter	Satuan	Metode Pengujian
1	Suhu	°C	SMEWW-2550 B
2	Residu Terlarut	mg/L	SMEWW-2140 C
3	Alkaliniti ($CaCO_3$)	mg/L	SMEWW-2320 B
4	Asiditi (CO_2)	mg/L	SMEWW-4500- CO_2C
5	Amonia Total (NH_3-N)	mg/L	SNI 06-2479-1991
6	Kalsium ($CaCO_3$)	mg/L	SMEWW-3500-CaB
7	Klorida (Cl)	mg/L	SNI 06-6989.19-2004
8	Kesadahan ($CaCO_3$)	mg/L	SMEWW-2340C
9	Magnesium (Mg)	mg/L	SMEWW-3500-MgB
10	Oksigen Terlarut	mg/L	SMEWW-4500-OC
11	pH	-	SNI 06-6989.11-2004
12	Nilai Permanganat ($KMnO_4$)	mg/L	SNI 06-2506-1991
13	Sulfat (SO_4)	mg/L	SMEWW- 4500 E
14	CO_2 Agresif	mg/L	SNI 06-4139-1996
15	LSI (IS)	-	SMEWW-Perhitungan

Kualitas air di daerah penelitian

Berdasarkan data hasil analisis kualitas air Waduk Sermo pada beberapa lokasi dan titik pengambilan contoh air, dapat dijelaskan sebagai berikut :

Kondisi kualitas air Waduk Sermo

Lokasi penelitian Waduk Sermo dilakukan pada 3 (tiga) bagian waduk (periksa Gambar 3) yaitu: (i) lokasi 1 pada segmen hulu waduk berdasarkan alur sungai suplesi waduk; (ii) lokasi 2 pada segmen tengah waduk berdasarkan alur sungai suplesi waduk; (iii) lokasi 3 pada segmen hilir waduk (mercu bendung) berdasarkan alur sungai suplesi waduk. Dari hasil pengukuran selama periode penelitian diperoleh hasil sebagai berikut :

1) KUALITAS AIR PADA LOKASI-1 : 07°49' 02" S - 110°06' 55" E

Pengambilan contoh air pada segmen lokasi Waduk Sermo (St-1), merupakan lokasi pada bagian hulu waduk yang dilakukan pada kedalaman yang berbeda, masing-masing pada kedalaman 1, 7, dan 11 m dari permukaan waduk (periksa Tabel 4, Gambar 5). Berdasarkan standar DIN-4030 dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Pada kedalaman waduk 1 m

Hasil pemeriksaan kualitas air di kedalaman 1 m dari permukaan hulu Waduk Sermo, sebagai berikut :

- i) pH air cenderung basa, yaitu pH 8,4 pada setiap kali pengambilan. Apabila ditinjau dari batas nilai pH yang dapat merusak beton yaitu pada $\text{pH} < 6,5$, maka pada pH ini masih belum terlihat adanya gejala perusakan terhadap beton;
- ii) kadar CO_2 agresif berkisar antara 0 mg/L sampai dengan 8,6 mg/L. Berdasarkan tingkat perusakannya terhadap beton kadar CO_2 agresif antara 15-30 mg/L menunjukkan tingkat perusakan sedikit. Makin tinggi kadar CO_2 agresif maka makin tinggi pula tingkat perusakannya yaitu apabila kadar CO_2 agresif lebih besar dari 60 mg/L. Dengan demikian, ditinjau dari kadar CO_2 agresif, maka air tersebut belum termasuk kategori merusak beton;
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air berkisar antara 0,247 mg/L sampai dengan 0,499 mg/L, rentang kadar ini masih jauh di bawah rentang kadar pada kriteria air yang dapat merusak beton sedikit yaitu 15 – 30 mg/L;
- iv) kadar magnesium, Mg dalam air antara 7,0 – 9,8 mg/L, rentang kadar ini masih relatif rendah bila dibandingkan dengan tingkat perusakan sedikit yang disebabkan oleh magnesium yaitu 100 – 300 mg/L;

- v) kadar sulfat, SO_4 dalam air permukaan antara 14,6 – 15,2 mg/L. Rentang kadar sulfat yang dapat sedikit merusak beton yaitu antara 200 – 600 mg/L, karena kadar sulfat dalam air permukaan masih jauh dari bersifat korosif terhadap beton.

b) Pada kedalaman waduk 7 m

Hasil pemeriksaan kualitas air di kedalaman waduk 7 m dari permukaan Waduk Sermo, sebagai berikut :

- i) pH air cenderung netral dibandingkan dengan pH air permukaan, yaitu berkisar antara pH 7,3 – 7,7 pada setiap kali pengambilan. Apabila ditinjau dari nilai pH yang dapat merusak beton yaitu $\text{pH} < 6,5$, maka pada pH ini belum terlihat gejala perusakan beton;
- ii) kadar CO_2 agresif berkisar antara 0,2 mg/L sampai dengan 0,9 mg/L, berdasarkan tingkat perusakan terhadap beton kadar CO_2 agresif antara 15-30 mg/L menunjukkan tingkat perusakan sedikit, maka rentang kadar yang terukur dapat dikategorikan belum merusak;
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air pada semua lokasi menunjukkan kadar yang tidak terdeteksi dalam air yaitu $< 0,036$ mg/L. Kadar ini menurun apabila dibandingkan dengan kadar NH_3 pada permukaan waduk. Tidak terdeteksinya kadar NH_3 menunjukkan bahwa air waduk pada kedalaman ini belum menunjukkan sifat korosif terhadap bangunan;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 6,8 – 10,3 mg/L, rentang kadar ini relatif sama dengan kadar magnesium pada permukaan waduk yaitu antara 7,0 – 9,8 mg/L. Data tersebut belum menunjukkan adanya korosif terhadap bangunan;
- v) kadar sulfat dalam air pada lokasi ini berkisar antara 12,7 – 14,5 mg/L, rentang kadar sulfat sedikit menurun apabila dibandingkan dengan kadar dipermukaan waduk yang berkisar antara 14,6 – 15,2 mg/L. Data ini belum menunjukkan air waduk yang bersifat korosif.

c) Pada kedalaman waduk 11 m

Hasil pemeriksaan kualitas air pada kedalaman waduk 11 m dari permukaan Waduk Sermo, adalah sebagai berikut :

- i) pH air pada bagian dasar waduk di segmen hulu waduk ini menunjukkan pH netral yaitu antara 7,1 – 7,4. Ditinjau dari nilai pH di bagian dasar waduk pada segmen ini belum termasuk pH yang dapat merusak beton,

karena batas nilai pH yang dapat merusak beton yaitu pada $pH < 6,5$;

- ii) kadar CO_2 agresif pada bagian dasar waduk segmen lokasi ini cukup bervariasi yaitu antara 1,3 – 8,6 mg/L, berdasarkan tingkat perusakan terhadap beton kadar CO_2 agresif antara 15-30 mg/L maka rentang kadar yang terukur masih di bawah kriteria tingkat perusakan sedikit;
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air pada dasar waduk pada segmen lokasi ini menunjukkan kadar yang tidak terdeteksi dalam air yaitu $< 0,036$ mg/L sama halnya dengan kadar amonia pada lokasi kedalaman menengah waduk tersebut di atas. Kadar ini menurun apabila dibandingkan dengan kadar amonia pada permukaan waduk. Tidak terdeteksinya kadar NH_3 menunjukkan bahwa air waduk pada kedalaman ini belum menunjukkan sifat korosif terhadap bangunan;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 8,3 – 10,7 mg/L, rentang kadar ini relatif meningkat dibandingkan dengan kadar magnesium pada permukaan dan kedalaman menengah waduk. Data tersebut belum menunjukkan adanya korosif terhadap bangunan;
- v) kadar sulfat dalam air pada lokasi ini antara 12,7 – 63,5 mg/L, rentang kadar ini cenderung meningkat dibandingkan kadar sulfat dipermukaan waduk dan kedalaman menengah waduk. Namun demikian kisaran kadar sulfat ini masih di bawah kriteria untuk tingkat kerusakan sedikit yang berkisar antara 200 - 600 mg/L.

d) Penilaian Indek Saturasi Langelier

Dari hasil perhitungan LSI pada lokasi pemeriksaan kualitas air Waduk Sermo Lokasi-1, yaitu lokasi pemeriksaan pada segmen lokasi hulu Waduk Sermo sesuai alur sungai suplesi waduk, metode pengambilan contoh masing-masing pada kedalaman 1, 7, dan 11 m dari permukaan waduk, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- i) nilai LSI pada contoh air permukaan Waduk Sermo ($d \approx 1m$) rata-rata sebesar - 0,1;
- ii) nilai LSI contoh air kedalaman menengah Waduk Sermo ($d \approx 7m$) sangat bervariasi antara -1,1 sampai dengan - 0,8;
- iii) nilai LSI pada contoh air dari dasar Waduk Sermo ($d \approx 11m$) sangat bervariasi yaitu antara - 1,3 sampai dengan - 0,9.

Dari data hasil perhitungan indeks saturasi Langelier, tampak adanya kecenderungan, semakin tinggi kedalaman (\approx mendekati dasar waduk), nilai LSI akan semakin negatif. Angka LSI negatif berarti air waduk tidak berpotensi membentuk kerak, akan

tetapi berpotensi melarutkan kapur sehingga air seperti bersifat korosif.

**2) KUALITAS AIR PADA LOKASI-2 :
07°49' 15" S - 110° 07' 04" E**

Pemeriksaan parameter korosifitas pada segmen lokasi Waduk Sermo (St-2) merupakan lokasi pada *Bagian Tengah Waduk* berdasarkan alur sungai suplesi waduk, dilakukan terhadap contoh pada kedalaman yang berbeda, masing-masing pada kedalaman 1, 11 dan 21 m dari permukaan waduk (periksa Tabel 5, Gambar 6), yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Pada kedalaman waduk 1 m

Hasil pemeriksaan kualitas air pada kedalaman waduk 1 m dari permukaan Waduk Sermo, adalah sebagai berikut :

- i) pH air permukaan waduk pada posisi-2 antara 7,6 – 8,4, apabila ditinjau dari batas nilai pH yang dapat merusak beton yaitu pada $pH < 6,5$, maka pada pH ini masih belum terlihat adanya gejala perusakan terhadap beton;
- ii) kadar CO_2 agresif rata-rata sebesar 2,2 mg/L, berdasarkan tingkat perusakan beton, pada kadar ini belum menunjukkan gejala perusakan terhadap beton. Karena makin tinggi kadar CO_2 agresif, makin tinggi tingkat perusakan ($CO_{2\text{ ag}} > 60$ mg/L);
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air berkisar antara 0,243 mg/L sampai dengan 0,323 mg/L, rentang kadar ini masih jauh di bawah rentang kadar pada kriteria air yang dapat merusak sedikit yaitu antara 15 – 30 mg/L;
- iv) kadar magnesium dalam air masih relatif rendah antara 1,7 – 9,9 mg/L, rentang kadar ini masih relatif rendah dibandingkan dengan tingkat perusakan oleh magnesium yaitu 100 – 300 mg/L yang dapat merusak sedikit;
- v) kadar sulfat dalam air permukaan antara 13,8 – 16,7 mg/L, rentang kadar sulfat yang dapat merusak sedikit yaitu antara 200 – 600 mg/L. Sehingga kadar sulfat dalam air permukaan masih jauh dari bersifat korosif terhadap beton.

b) Pada kedalaman waduk 11 m

Hasil pemeriksaan kualitas air pada kedalaman waduk 11 m dari permukaan Waduk Sermo, sebagai berikut :

- i) pH air cenderung netral dibandingkan dengan pH air permukaannya, yaitu masing-masing pH 7,3 – 7,6 pada setiap kali pengambilan, apabila ditinjau dari batas nilai pH yang dapat merusak beton yaitu pada $pH < 6,5$, maka pada pH ini masih belum terlihat adanya gejala perusakan terhadap beton;

- ii) kadar CO₂ agresif berkisar antara 0,2 sampai 1,5 mg/L berdasarkan tingkat perusakan terhadap beton kadar CO₂ agresif antara 15-30 mg/L maka rentang kadar yang terukur masih jauh di bawah kriteria tingkat perusakan sedikit;
- iii) kadar amonia, NH₃ dalam air pada lokasi ini menunjukkan kadar yang berkisar antara 0,523 - 0,563 mg/L. Kadar ini meningkat cukup signifikan bila dibandingkan dengan kadar amonia pada bagian permukaan waduk pada posisi-2 ini. Namun demikian, nilai kadar ini masih di bawah kriteria tingkat perusakan beton kategori sedikit;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 2,3 - 8,8 mg/L, rentang kadar ini relatif sama dengan kadar magnesium pada permukaan waduk yaitu antara 1,7 - 9,4 mg/L. Sehingga masih belum menunjukkan air yang bersifat korosif;
- v) kadar sulfat dalam air pada lokasi ini berkisar antara 10,6 - 13,8 mg/L, rentang kadar sulfat sedikit menurun apabila dibandingkan dengan kadar pada permukaan waduk yang berkisar antara 14,0 - 16,7 mg/L. Sehingga kadar sulfat dalam air masih jauh bersifat korosif terhadap beton.

c) Pada kedalaman waduk 21 m

Hasil pemeriksaan kualitas air pada kedalaman waduk 21 m, yang merupakan contoh air pada dasar waduk di segmen tengah Waduk Sermo dan tetap pada alur sungai suplesi waduk, sebagai berikut :

- i) pH air pada bagian dasar waduk ini menunjukkan pH netral yaitu 7,1 - 7,5. Batas nilai pH < 6,5 adalah pH yang dapat merusak sedikit beton, kondisi contoh air waduk pada pH tersebut dapat diasumsikan masih belum dikategorikan merusak beton;
- ii) kadar CO₂ agresif pada bagian dasar waduk segmen lokasi ini cukup bervariasi yaitu 2,1 - 4,3 mg/L, berdasarkan tingkat perusakan sedikit terhadap beton yaitu antara 15-30 mg/L, maka kadar yang terukur masih jauh di bawah kriteria perusakan;
- iii) kadar amonia, NH₃ dalam air pada dasar waduk pada segmen lokasi ini menunjukkan kadar yang tidak terdeteksi dalam air yaitu < 0,036 mg/L sampai dengan 0,607 mg/L sama halnya dengan kadar amonia pada lokasi kedalaman menengah waduk di atas. Kadar ini menurun bila dibandingkan dengan kadar amonia pada permukaan waduk;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 2,2 - 10,7 mg/L, rentang kadar ini relatif meningkat dibandingkan

dengan kadar magnesium pada permukaan dan kedalaman menengah waduk. Namun demikian, air tersebut masih dibawah kriteria tingkat perusakan sedikit;

- v) kadar sulfat dalam air pada lokasi ini antara 7,4 - 10,6 mg/L, rentang kadar sulfat ini cenderung meningkat dibandingkan dengan kadar sulfat dipermukaan waduk dan kedalaman menengah waduk. Namun demikian kisaran kadar sulfat ini masih di bawah kriteria untuk tingkat kerusakan sedikit yang berkisar antara 200 - 600 mg/L.

d) Penilaian Indeks Saturasi Langelier

Dari hasil perhitungan LSI pada lokasi Waduk Sermo Lokasi-2, yaitu lokasi pengukuran pada segmen tengah Waduk Sermo sesuai alur sungai suplesi waduk, metode pengambilan contoh masing-masing dilakukan pada kedalaman 1, 11 dan 21 m dari permukaan waduk, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- i) nilai LSI pada air permukaan Waduk Sermo (d ≈ 1m) berkisar antara -0,6 sampai 0,0;
- ii) nilai LSI pada air kedalaman menengah Waduk Sermo (d ≈ 11m) sangat bervariasi yaitu antara -1,1 sampai dengan -0,7;
- iii) nilai LSI pada air dari dasar Waduk Sermo (d ≈ 21m) sangat bervariasi yaitu antara -1,4 sampai dengan -0,7.

Dari data hasil perhitungan indeks saturasi Langelier, terlihat ada kecenderungan, semakin tinggi kedalaman (≈ mendekati dasar waduk), akan semakin tinggi pula nilai negatifitas angka indeks saturasi Langelier-nya (LSI negatif). Angka LSI negatif berarti air waduk tidak berpotensi membentuk kerak, akan tetapi berpotensi melarutkan kapur sehingga air cenderung bersifat korosif.

**3) KUALITAS AIR PADA LOKASI-3 :
07°49' 24" S - 110° 07' 21" E**

Pemeriksaan parameter korosifitas pada segmen lokasi Waduk Sermo (St-3) merupakan lokasi pada *Bagian Hilir Waduk (Mercu)*, dilakukan terhadap contoh air pada kedalaman yang berbeda, yaitu masing-masing pada kedalaman 1, 18 dan 35 m dari permukaan waduk (periksa Tabel 6, Gambar 7), yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Pada kedalaman waduk 1 m

Hasil pengukuran kualitas air pada kedalaman waduk 1 m dari permukaan Waduk Sermo, adalah sebagai berikut :

- i) pH air rata-rata permukaan waduk pada posisi-3 rata-rata 8,4. Apabila ditinjau dari

batas nilai pH yang dapat merusak sedikit beton yaitu pada $\text{pH} < 6,5$, maka pada pH ini belum menunjukkan perusakan terhadap beton.

- ii) Kadar CO_2 agresif berkisar 1,7 mg/L sampai -4,3 mg/L, kadar CO_2 agresif ini belum menunjukkan indikasi korosif, karena masih di bawah batas minimum perusakan sedikit yaitu antara 15 – 30 mg/L.
- iii) Kadar amonia, NH_3 dalam air berkisar antara 0,071 mg/L sampai dengan 0,350 mg/L, rentang kadar ini tampak sangat fluktuatif. Namun demikian, kadar ini masih jauh di bawah kriteria air yang dapat merusak sedikit yaitu 15 – 30 mg/L.
- iv) Kadar magnesium dalam air berkisar antara 6,4 – 9,0 mg/L, kadar ini masih relatif rendah dibandingkan dengan tingkat perusakan disebabkan oleh magnesium yaitu 100 – 300 mg/L yang dapat merusak sedikit.
- v) Kadar sulfat dalam air permukaan antara 13,5 – 15,2 mg/L, rentang kadar sulfat yang dapat merusak beton sedikit yaitu antara 200 - 600 mg/L, sehingga kadar sulfat dalam air permukaan masih jauh dari bersifat korosif terhadap beton.

b) Pada kedalaman waduk 18 m

Hasil pengukuran kualitas air pada kedalaman waduk 18 m dari permukaan Waduk Sermo pada segmen hilir Waduk Sermo, adalah sebagai berikut :

- i) pH air cenderung netral dibandingkan pH air permukaannya yaitu pH 7,1 – 7,4, apabila ditinjau dari batas nilai pH yang dapat merusak beton yaitu $\text{pH} < 6,5$. Pada pH ini masih belum terlihat adanya gejala perusakan terhadap beton;
- ii) kadar CO_2 agresif sebesar 1,3 – 4,9 mg/L kadar pada titik pengambilan contoh ini cenderung naik ke arah positif. Namun demikian kadar CO_2 agresif yang terukur masih di bawah kriteria tingkat perusakan sedikit;
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air pada lokasi ini tidak teramati ($< 0,036$ mg/L). Kadar ini menurun cukup signifikan bila dibandingkan dengan air permukaan posisi-3 ini. Kadar ini masih di bawah kriteria tingkat perusakan beton sedikit;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 7,6 – 10,3 mg/L, rentang kadar ini relatif meningkat dibandingkan kadar magnesium di permukaan waduk. Namun demikian, kadar ini masih dibawah kriteria perusakan beton sedikit;

v) kadar sulfat dalam air berkisar antara 8,0 - 11,5 mg/L, rentang kadar menurun dibandingkan kadar air permukaan.

c) Kualitas air pada kedalaman waduk 35m

Hasil pemeriksaan kualitas air pada kedalaman waduk 35 m dari permukaan waduk di segmen hilir Waduk Sermo, adalah sebagai berikut :

- i) pH air pada bagian dasar waduk di segmen tengah waduk ini menunjukkan pH netral 7,0 – 7,2. Ditinjau dari nilai pH di bagian ini relatif sama dengan pH pada kedalaman tengah pada posisi-3 ini. Namun demikian, kadar ini masih dibawah kriteria perusakan beton sedikit;
- ii) kadar CO_2 agresif pada dasar waduk lokasi ini bervariasi antara -0,8 – 6,5 mg/L, kadar ini masih dibawah kriteria tingkat perusakan kategori sedikit;
- iii) kadar amonia, NH_3 dalam air pada dasar waduk pada segmen lokasi ini menunjukkan kadar yang tidak terdeteksi dalam air yaitu $< 0,036$ mg/L sama halnya dengan kadar amonia pada lokasi kedalaman menengah waduk di atas, dengan demikian, kadar ini masih dibawah kriteria perusakan beton sedikit;
- iv) kadar magnesium dalam air waduk pada lokasi ini berkisar antara 7,5 – 10,8 mg/L, rentang kadar ini relatif meningkat dibandingkan dengan kadar magnesium pada kedalaman menengah waduk, namun demikian, kadar ini masih dibawah kriteria perusakan beton sedikit;
- v) kadar sulfat dalam air pada lokasi ini 7,8 – 12,5 mg/L, cenderung sama dengan kadar pada kedalaman tengah waduk. Kisaran kadar sulfat ini masih di bawah kriteria tingkat kerusakan sedikit yaitu di bawah kadar sulfat 200 - 600 mg/L.

d) Penilaian Indeks Saturasi Langelier

Dari hasil perhitungan LSI pada lokasi pemeriksaan kualitas air Waduk Sermo Lokasi-3, yaitu pada segmen lokasi hilir Waduk Sermo sesuai alur sungai suplesi waduk, pengambilan contoh masing-masing pada kedalaman 1,18 dan 35 m dari permukaan waduk, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- i) nilai LSI pada air permukaan Waduk Sermo ($d \approx 1\text{m}$) rata-rata berkisar -4,3 sampai dengan -1,7;
- ii) nilai LSI pada air kedalaman menengah Waduk Sermo ($d \approx 18\text{m}$) sangat bervariasi yaitu antara -1,3 sampai -2,9;

iii) nilai LSI pada air dari dasar Waduk Sermo (d ≈ 35 m) sangat bervariasi u antara -0,8 sampai -3,5.

Dari data hasil pemeriksaan kualitas air dan perhitungan indek saturasi Langelier (LSI) pada lokasi ini terdapat perbedaan yang sangat signifikan, kecenderungan semakin dalam air (≈ dasar waduk), semakin positif (LSI positif).

**4) KUALITAS AIR PADA LOKASI-4 :
07°49' 30" S -110° 07'32" E**

Pemeriksaan parameter korosifitas pada segmen lokasi Waduk Sermo (St-4) merupakan lokasi pada *Out-let Waduk* Sermo. Pengambilan contoh air dilakukan pada permukaan saluran Outlet pintu Terowongan Waduk Sermo (periksa Tabel 7, Gambar 8). Berdasarkan standar DIN-4030 dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Kualitas air pada outlet waduk

Hasil pemeriksaan kualitas air pada outlet Waduk Sermo, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- i) pH air rata-rata permukaan waduk pada posisi-4 berkisar antara 7,2, apabila ditinjau dari batas nilai pH yang dapat merusak beton (pH < 6,5), maka pada pH ini masih belum menunjukkan pengaruh pada perusakan terhadap beton;
- ii) kadar CO₂ agresif berkisar antara 0,9 sampai 3,4 mg/L,. Kadar CO₂ agresif ini masih berada di bawah kriteria perusakan sedikit;
- iii) kadar amonia, NH₃ dalam air pada posisi ini tidak teramati yaitu kadar < 0,036 mg/L kadar amonia ini masih di bawah kriteria perusakan sedikit yaitu antara 15-30 mg/L;
- iv) kadar magnesium dalam air relatif rendah yaitu berkisar antara 6,6 – 12,3 mg/L, rentang kadar ini masih jauh di bawah tingkat perusakan yang

disebabkan oleh magnesium yaitu 100 – 300 mg/L;

v) kadar sulfat dalam air permukaan berkisar antara 7,4 – 9,3 mg/L, rentang kadar sulfat yang dapat merusak sedikit adalah 200 – 600 mg/L, sehingga kadar sulfat pada outlet waduk masih jauh dari bersifat korosif terhadap beton.

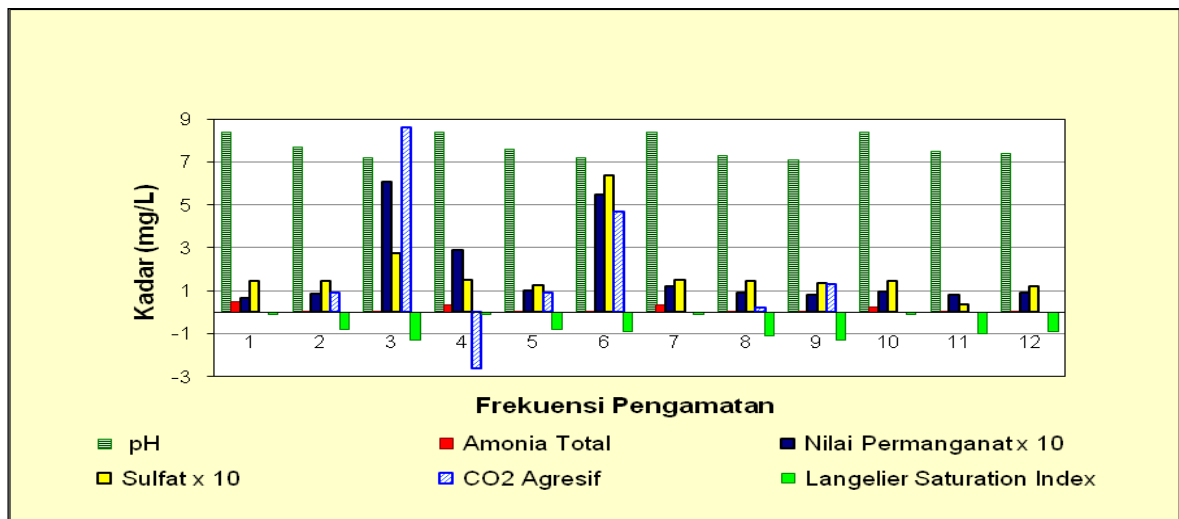
b. Penilaian Indeks Saturasi Langelier 4

Dari hasil perhitungan indeks saturasi Langelier pada lokasi pemeriksaan kualitas air Waduk Sermo Lokasi-4, yaitu pada segmen Outlet Waduk Sermo yang merupakan lokasi saluran terowongan waduk, diketahui bahwa angka LSI pada lokasi ini berkisar antara -1,3 sampai -1,1.

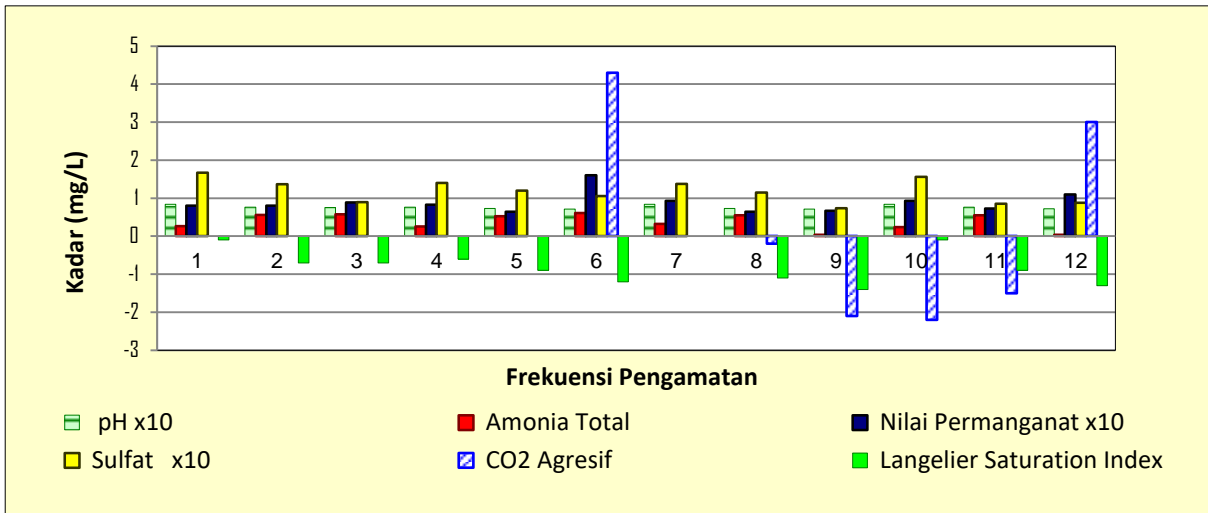
Pembahasan

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, nilai LSI dapat memberikan indikasi apakah air tersebut dapat membentuk kerak atau melarutkan kalsium karbonat. Namun demikian, nilai LSI ini tidak secara pasti dapat mengukur potensi tingkat korosi dan pembentukan kerak, tapi dapat memberikan indikasinya, seperti diuraikan berikut :

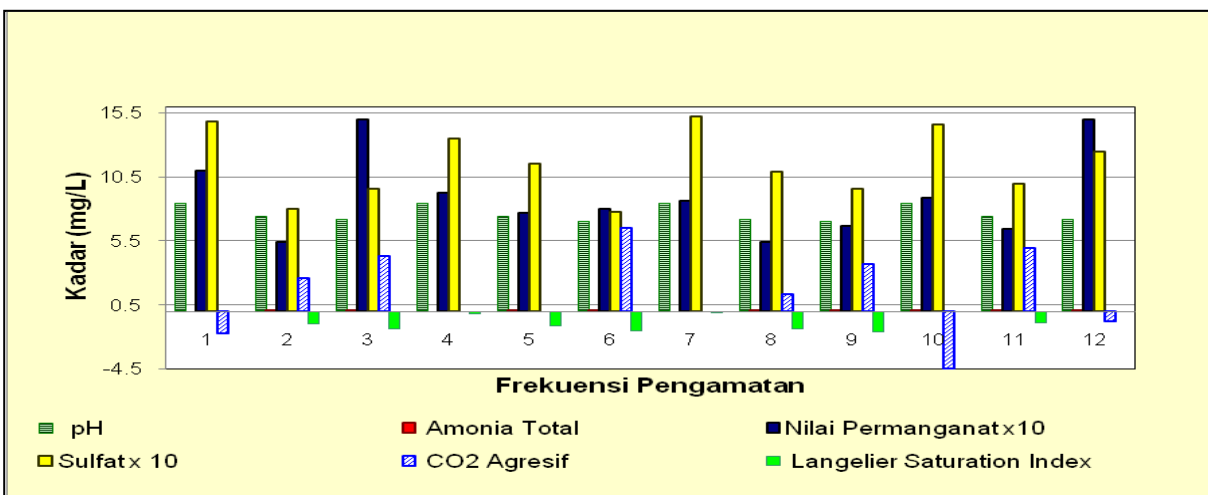
- 1) nilai LSI negatif, berarti air tidak berpotensi membentuk kerak tapi dapat melarutkan CaCO₃ ;
- 2) nilai LSI positif, berarti air dapat membentuk kerak dan mengendapkan CaCO₃ ;
- 3) nilai LSI nol, berarti batas potensi terjadi kerak, kualitas air labil, perubahan suhu / penguapan dapat mengubah nilai LSI.



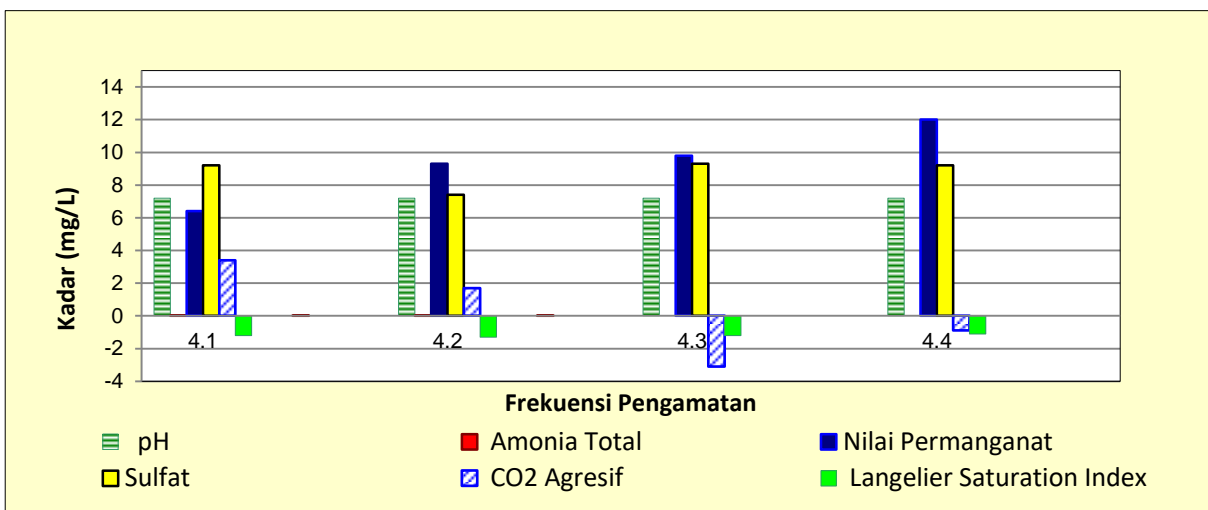
Gambar 5 Fluktuasi parameter korosifitas pada Waduk Sermo lokasi 1 (St-1)



Gambar 6 Fluktuasi parameter korosifitas pada Waduk Sermo lokasi 2 (St-2)



Gambar 7 Fluktuasi parameter korosifitas pada Waduk Sermo lokasi 3 (St-3)



Gambar 8 Fluktuasi parameter korosifitas pada Waduk Sermo lokasi 4 (St-4)

Kualitas air Waduk Sermo

Berdasarkan data hasil penelitian korosifitas air pada infrastruktur sumberdaya air di Waduk Sermo, pada semua lokasi dan titik pengamatan ternyata belum termasuk kategori kualitas air yang dapat merusak beton. Hal tersebut, ditunjukkan dengan besaran kadar dari parameter korosifitas air seperti pH, CO₂ agresif, NH₃, Mg, SO₄ masih di bawah kriteria minimum kadar yang dapat merusak beton.

Namun demikian, ditinjau dari angka LSI, hampir semua lokasi dan titik pengamatan pada waduk menunjukkan angka LSI negatif. Angka negatif ini berarti, air tidak berpotensi membentuk kerak tetapi melarutkan kapur (CaCO₃), sehingga air cenderung bersifat korosif terutama pada bagian dasar waduk.

Pada lokasi hulu Waduk Sermo, nilai negatif LSI meningkat sejalan dengan kedalaman air, semakin dalam makin meningkat nilai LSI negatifnya. Angka LSI pada air permukaan ($d \approx 1$ m) semuanya bernilai -0,1, angka LSI pada kedalaman 7 m antara -1,1 sampai -0,8 dan angka LSI pada kedalaman 11 m antara -1,3 sampai -0,9.

Pada lokasi tengah Waduk Sermo, air waduk secara umum masih di bawah batas minimum air yang dapat merusak beton, Angka LSI pada permukaan ($d \approx 1$ m) bernilai antara -0,1 sampai nol, angka LSI pada 11 m antara -1,4 sampai -0,7 dan angka LSI pada 21 m antara -1,4 sampai -0,7.

Pada lokasi hilir Waduk Sermo, kecenderungan makin dalam air waduk nilai LSI semakin negatif, bahkan cenderung lebih bersifat korosif. Angka LSI pada permukaan air ($d \approx 1$ m) antara -0,2 sampai nol, angka LSI pada kedalaman 18 m berkisar antara -1,4 sampai -0,9 dan angka LSI pada kedalaman 35 m berkisar antara -1,6 sampai -1,4.

Pada lokasi Outlet Waduk Sermo, pada saluran terowongan waduk, kecenderungan air bersifat korosif tampak lebih signifikan, ditunjukkan terjadinya pengelupasan dinding terowongan sebagai indikasi perusakan ringan, secara akumulatif seperti ditunjukkan dengan nilai LSI antara -1,1 sampai -1,3.

Berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas air dan perhitungan LSI tampak bahwa semakin dalam pengambilan contoh air, maka angka LSI makin negatif.

- 1) Nilai LSI pada air permukaan Waduk Sermo ($d \approx 1$ m) rata-rata sebesar 0 sampai dengan -1,1 berpotensi membentuk kerak sampai korosif.
- 2) Nilai LSI pada air kedalaman menengah Waduk Sermo ($d \approx 7 - 18$ m) bervariasi yaitu antara -

1,4 sampai -0,6 berarti berpotensi korosif lemah sampai kuat

- 3) Nilai LSI pada contoh air dari dasar Waduk Sermo ($d \approx 11 - 35$ m) sangat bervariasi antara -1,6 sampai dengan -0,9 yang berpotensi korosif lemah sampai kuat

KESIMPULAN

Tingkat korosifitas air Waduk Sermo, pada posisi hulu, tengah dan hilir luasan waduk serta pada posisi outlet waduk belum termasuk kategori kualitas air yang dapat merusak beton seperti dipersyaratkan dalam kriteria DIN-4030. Hal ini dikarenakan, kadar parameter kualitas air seperti pH, CO₂ agresif, amonia, magnesium dan sulfat, masih di bawah kriteria batas minimum kadar yang dapat merusak beton.

Akan tetapi, berdasarkan angka Langelier Saturation Index (LSI) hampir pada semua lokasi dan titik pengambilan contoh air pada kedalaman waduk menunjukkan angka LSI negatif. Angka negatif berarti, air cenderung bersifat sedikit korosif.

Sebagai saran untuk meningkatkan kualitas hasil penelitian dan pengembangan sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, perlu dilakukan kegiatan lanjutan dengan dukungan data dan informasi awal daerah studi, dukungan literatur, sarana dan prasarana percobaan serta metode analisis di laboratorium yang lebih memadai. Dengan harapan, dapat mengungkap fenomena terkait dengan korosifitas air yang lebih detil dan akurat, agar dapat diperoleh rekomendasi teknis upaya preventif dan kuratif perubahan kualitas air menjadi bersifat korosif pada infrastruktur sumber daya air.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA/AWWA/WEE. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition. Washington DC, USA.
- Lohani, B.N., et.al. 1984. *Environmental Quality Management, Environment Management Series*. South Asian Pub., New Delhi
- Jones, D.A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Maxwell Mc. Millan Int'l. NY USA.
- DIN-4030; 1969. *Standar Tentang Penilaian Air, Tanah dan Gas Yang Merusak Beton* (Terjemahan).
- Herbland, A. dan Voituriez, B. 1979. *Hydrological Structure Analysis for Estimating the Primary Production in Tropical Atlantic Ocean, Marine Res.J*, 37th ed.

- Bridgman, H. 1990. *Global Air Pollution Problems*. Belhaven Press, London, UK.
- Basmi, J. 2000. *Planktonologi: Plankton Bioindikator Kualitas Perairan*. FPIK-IPB, Bogor.
- Mas'ud, P. 1993. *Telaah Kesuburan Tanah*, Cetakan 10, Penerbit Angkasa, Bandung.
- Moelyo, M. 2008. *Peranan Biota Plankton Pada Perairan Waduk dan Danau*, Tidak Dipublikasikan, Puslitbang SDA, Balitbang PU, Bandung.
- Pusat Litbang SDA. 2004. *Pengelolaan Waduk dan Danau Dari Aspek Kualitas Lingkungan*. Laporan Akhir, Badan Litbang Dep.PU, Bandung.
- Pusat Litbang SDA. 1998. *Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Air Waduk Cirata*. Laporan Teknis, Pusat Litbang SDA-PT. PLN Jawa Bali II Sektor Cirata, Bandung.
- Rachmat, S. 1997. *Korosi*, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Ravera, O. 1979. *Biological Aspect of Freshwater Pollution*. Commission of The European Communities, Pergamon Press, Ispra, Italy.
- Rompas, M.R. 1998. *Kimia Lingkungan*. Penerbit Tarsito, Bandung
- Soderlund, R. dan Roswal, T. 1982. *The Nitrogen Cycles*. The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 1, Berlin, Hiedelberg.
- Setiana, A. 1996. Pengendalian Pencemaran Air di Daerah Pengaliran Sungai. *Prosiding Pengelolaan DPS Terpadu*, BPPT, Jakarta.
- Trethewey, K.R., dan Chamberlain, J., eds. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ott, W.R. 1978. *Environmental Indices, Theory and Practic.*, Ann Arbor Science Publisher Inc. Mich. USA.
- Ikawati, Y. 2007. *Plankton Reduksi Emisi Gas Karbon*. Artikel Harian Kompas Tgl. 19 Oktober 2007.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof (R.) Ir. Nana Terangna Dipl. EST., Drs. Tontowi M.Sc, Ir. Iskandar A. Yusuf M.Sc. atas arahan, masukan dan koreksi pada pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga kepada Kepala Balai PSDA Sermo beserta staf di Provinsi DI Yogyakarta, atas bantuan data, informasi dan masukan yang diberikan sepanjang pelaksanaan penelitian.