

Keanekaragaman Jenis Plankton sebagai Indikator Kualitas Air Limbah berbagai Industri di Kota Surakarta dan Sekitarnya

Species diversity of plankton as an indicator of water quality at sewerage disposal of several industries in Surakarta

WIRYANTO, ARI SUSILOWATI, AHMAD DWI SETYAWAN

Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta 57126

Diterima: 1 September 2002. Disetujui: 15 Januari 2003

ABSTRACT

The objectives of the research were to study the physical, chemist and biological (plankton) conditions of sewerage disposal from several industries in Surakarta. Physical parameters observed were temperature, total soluble solid and the texture of soil sediment, chemistry parameters observed were including DO, pH and EC, while biotic parameters observed were density and diversity of plankton. The research was done between July and September 2002 at sewerage disposal of ten industries in Surakarta. Sample collected at 0, 100 and 200m respectively from the waste resource. Temperature data measured for both water and sediment resulted that the average temperature of ten industries was $>28^{\circ}\text{C}$, with certain industry clearly dissolved its high temperature trough its sewerage. The TSS varies between industries, depend on the specification of the industry, pH detected was >7 , and the DO data measured were relatively high due to aeration process. Based on the plankton diversity indices, all water sewerage from the ten industries were categorized as heavy polluted.

© 2003 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Kata kunci: sewerage, plankton, Surakarta

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk yang cepat di Indonesia menyebabkan perlunya penyediaan lapangan kerja dalam skala besar. Proses industrialisasi merupakan jalan pintas untuk menampung besarnya angkatan kerja ini. Akan tetapi proses ini membawa dampak buruk berupa rusak dan tercemarnya lingkungan hidup. Perkembangan industri menuntut penyediaan dan penggunaan tanah, air, udara dan energi yang lebih besar. Hal ini sering kali diikuti peningkatan "waste" dan "effluent" yang menyebabkan kerusakan lingkungan dan membahayakan kelestarian alam (Talkurputra dan Sutarnihardja, 1978).

Air merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup. Manusia memerlukan air untuk kehidupan seperti makhluk hayati lain dan untuk kehidupan sebagai manusia berbudaya (Mahida, 1984). Limbah industri dapat mempengaruhi kualitas dan daya guna air. Semua industri pada hakekatnya dapat menyebabkan pengotoran terhadap lingkungan, namun tidak semua bahan buangan tersebut menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahan buangan akan menjadi bahan pencemar apabila terakumulasi dalam jumlah melebihi kemampuan lingkungan untuk menetralisasikannya (Martopo, 1990; Sudarmadji, 1990).

Kota Surakarta dan sekitarnya merupakan salah satu kawasan paling padat di Propinsi Jawa Tengah.

Perkembangan industri di kawasan ini maju pesat, terlebih dengan dukungan jumlah penduduknya yang besar dan menjadi pemasok tenaga kerja dengan gaji kompetitif. Pada awal tahun 2000 diperkirakan jumlah penduduk Kota Surakarta dan keenam kabupaten di sekitarnya, yakni Klaten, Boyolali, Karanganyar, Sragen, Wonogiri, dan Sukoharjo lebih dari enam juta. Namun perkembangan industri ini juga berdampak negatif terhadap lingkungan, antara lain diubahnya sawah menjadi area industri dan permukiman, dengan berbagai limbahnya (Sutarno dan Setyawan, 2002).

Sampah kegiatan industri perlu mendapat pemantauan dan penanganan yang sungguh-sungguh mengingat bentuknya yang sangat beragam dan pengaruhnya yang luas (Wiryanto, 1997). Pemantauan kualitas lingkungan umumnya dilakukan dengan karakter kimia dan fisika, namun karakter ini sangat berfluktuasi tergantung proses produksi yang sedang berlangsung di pabrik. Oleh karena itu perlu dikombinasikan dengan karakter biotik, misalnya plankton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (i) keanekaragaman plankton pada saluran limbah beberapa jenis pabrik di Kota Surakarta dan sekitarnya, (ii) kualitas kimia pada saluran limbah, meliputi DO, pH, dan EC, serta (iii) kualitas fisik pada saluran tersebut, meliputi suhu, total bahan padat terlarut dan tekstur tanah sedimen.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

Pengambilan sampel lapangan dilaksanakan pada bulan Juli s.d. September 2002. Sampel penelitian diambil pada 10 jenis industri, terdiri dari industri besar, menengah, dan kecil, dengan jenis kegiatan yang beragam (Tabel 1). Kesepuluh industri ini banyak dikenal masyarakat Surakarta, beberapa di antaranya pernah menimbulkan konflik dengan masyarakat karena mencemari lingkungan.

Pada setiap lokasi penelitian di atas, ditentukan tiga titik pengambilan sampel, yaitu (i) di mulut saluran keluar dari pabrik, (ii) pada jarak 100 m dari mulut saluran, dan (iii) pada jarak 200 m dari mulut saluran. Pada setiap titik pengambilan sampel dilakukan tiga kali ulangan.

Tabel 1. Daftar lokasi penelitian

| No | Nama Industri | Jenis usaha | Lokasi |
|-----|----------------------------|---------------|-------------|
| 1. | PT. Indo Acidatama | Alkohol | Karanganyar |
| 2. | PT. Palur Raya | MSG | Karanganyar |
| 3. | PT. Indatex | Tekstil | Karanganyar |
| 4. | PT. Karunia Aguing Tekstil | Tekstil | Karanganyar |
| 5. | PT. Tyfoundtex | Tekstil | Sukoharjo |
| 6. | PT. Indomoto | Bumbu masakan | Surakarta |
| 7. | PT. Tunggak Waru Semi | Bumbu masakan | Surakarta |
| 8. | PT. Konimex | Farmasi | Sukoharjo |
| 9. | Kawasan industri batik | Batik | Surakarta |
| 10. | Kawasan industri tahu | Makanan | Surakarta |

Cara kerja

Pengukuran parameter lingkungan fisik dan kimia. Pengukuran suhu air dan sedimen dilakukan dengan termometer Hg (skala 0-100 °C), pada siang hari antara pukul 10.00-15.00 wib. Besarnya pH air dan sedimen diukur dengan pH meter electric merek Ciba-Corning, Jepang. Kadar oksigen terlarut (DO) diukur dengan oxygenmeter merek YSI Incorporated, model 51B SN: 95 H 36111 buatan Simpson Electric Co., USA. Kadar EC dan total bahan padat terlarut (*total solid dissolve; TSD*) dalam air diukur dengan alat yang juga digunakan untuk mengukur pH meter di atas. Adapun tekstur tanah diamati secara visual dengan membandingkan komposisi lempung, debu dan pasir, dimana lempung dan debu dinyatakan sebagai lumpur (*sludge*).

Pengukuran parameter lingkungan biotik (plankton). Air dari saluran limbah sebanyak 5 liter dituangkan ke dalam jala plankton yang telah dipasang botol flakon volume 10 ml. Plankton yang terjaring dan menempel pada dinding jala disiram hingga masuk ke botol flakon, lalu diberi tiga tetes formalin 4% untuk pengawetan. Sebanyak 1 ml air sampel diambil dengan pipet dan dimasukkan dalam SRCC, lalu diamati di bawah mikroskop yang telah

dipasangi mikrometer okuler *Wipple*. Perhitungan jumlah fitoplankton dan zooplankton dilakukan dengan metoda *total strip counting*, dimana seluruh medan penglihatan dijelajahi dan semua individu yang diketemukan dihitung, sehingga diketahui jumlah plankton per liter. Selanjutnya dihitung indeks diversitas plankton.

Analisis data

Tingkat pencemaran fisik dan kimia dijelaskan secara deskriptif, sedangkan parameter biologi dimaksudkan untuk menguji perubahan mutu air, berdasarkan nilai indeks diversitas plankton berkaitan dengan tingkat pencemaran berdasarkan tingkat kriteria pencemaran dari Lee dkk., (1978) dan Wilhm (1975, dalam Herliyan, 1990).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter fisik dan kimia disajikan pada Tabel 2. Semua jenis industri diamati karakter fisik, kimia, dan biotiknya pada jarak 0, 100, dan 200 meter dari mulut saluran limbah di pagar pabrik ke arah hilir. Kecuali industri tahu yang tingkat usahanya relatif kecil sehingga limbah yang dibuang tidak cukup banyak dan telah bercampur dengan limbah domestik sebelum mencapai jarak 100 meter dari mulut saluran, sehingga hanya diukur pada jarak 0 meter.

Parameter Fisik dan Kimia

Suhu

Kesepuluh jenis industri yang diamati, semuanya menggunakan air dalam proses produksi. Beberapa diantaranya, khususnya industri tekstil menggunakan air dalam jumlah besar, sehingga perlu membuat sumur dalam (*artesis*). Air limbah produksi pabrik memiliki beragam kandungan sesuai dengan proses produksi di dalamnya. Hampir semua air yang digunakan dalam proses produksi ini mengalami pemanasan (*pendidihan*). Akan tetapi rerata suhu air atau sedimen tanah pada pabrik-pabrik yang diamati cenderung tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Pengukuran suhu air pada jarak 0, 100, dan 200 m dari mulut saluran secara berturut-turut memberikan nilai rata-rata 28,9, 30,3, dan 29,3°C, sedangkan pengukuran suhu sedimen tanah memberikan rata-rata nilai sebesar 28,6, 29,0, dan 29,9 °C.

Hal di atas boleh jadi dikarenakan beberapa sebab: (i) pada saat pengukuran suhu proses produksi di dalam pabrik tidak sedang membutuhkan pemanasan air, atau (ii) terdapat masukan panas dari lingkungan disekitarnya, mengingat sebagian pabrik menggunakan selokan atau sungai secara langsung sebagai saluran limbah, tidak membuat saluran tersendiri. Masukan panas ini dapat berasal dari persawahan yang terpapar langsung sinar matahari siang yang terik, kawasan pemukiman di sekitarnya atau pabrik lain. Meskipun untuk yang terakhir ini telah diupayakan meminimalkannya dengan memilih pabrik yang lokasinya berjauhan dengan pabrik lain.

Terjadinya penurunan suhu pada air dan sedimen tanah dari mulut saluran limbah hingga ke hilir secara jelas hanya dapat diamati pada industri tekstil Tyfoundtex. Pengukuran suhu air limbah pada titik 0, 100, dan 200 m secara berturut-turut menunjukkan nilai 39,8 35,3, dan 27,0°C dengan rata-rata 35,7°C, sedangkan pengukuran suhu sedimen tanah secara berturut-turut menunjukkan nilai 33,9, 28,8, dan 27,63 °C dengan rata-rata 30,4°C. Pada saat pengukuran, pabrik tampaknya sedang melakukan proses produksi yang menghasilkan panas, dan limbah yang belum diolah secara tepat langsung dibuang ke lingkungan. Panas yang tinggi ini diyakini bersumber dari pabrik tersebut, mengingat pengukuran dilakukan pada saluran limbah yang khusus dibuat untuk mengalirkan limbah ke sungai, dimana masukan panas dari tempat lain dapat diabaikan.

Pada dasarnya lingkungan memiliki daya dukung untuk menetralkan limbah, namun kemampuan ini memiliki keterbatasan tertentu. Suhu air dan tanah sedimen yang lebih tinggi dari kondisi normal dapat menyebabkan kematian berbagai jenis biota, tidak hanya tumbuhan dan hewan yang kasat mata, namun juga mikrobia yang berukuran mikroskopis.

Derajat keasaman (pH)

Dalam penelitian ini pH rata-rata pada jarak pengambilan sampel 0, 100, dan 200 m dari mulut saluran pembuangan limbah tidak berbeda jauh. Pada air, secara berturut-turut terukur nilai pH sebesar 7,7, 7,9 dan 7,4, sedangkan pada sedimen tanah secara berturut-turut adalah 7,2, 7,2 dan 7,0. Kondisi demikian masih memungkinkan makhluk hidup untuk tumbuh dan berkembang. Makhluk hidup memiliki rentang pH tertentu dalam bertahan hidup, umumnya berkisar 6-8 atau netral, sedangkan organisme akuatik umumnya dapat bertahan pada pH 7-8. Dalam penelitian ini hanya limbah dari industri tekstil Karunia Agung Tekstil yang memiliki derajat keasaman tinggi (alkali). Pengamatan nilai pH dengan jarak 0, 100, dan 200 meter dari titik pembuangan limbah, secara berturut-turut menunjukkan nilai pH air sebesar 11,0, 11,0, dan 7,0, sedang nilai pH sedimen tanah secara berturut-turut terukur 10,89, 9,9, dan 7,0.

Derajat pH yang tinggi pada industri tekstil karena digunakannya berbagi jenis kemikalia yang bersifat basa dalam proses produksi, seperti soda. Apabila instalasi pengolahan limbah di dalam pabrik tidak berfungsi dengan optimal, maka bahan-bahan alkali ini akan terbawa keluar. Pada kasus tanpa pengolahan limbah sama sekali, pH dapat mencapai nilai 12 (Wiryanto, 1997). Dalam penelitian ini, alam secara nyata dapat menurunkan derajat keasaman, dimana nilai pH telah menuju netral pada jarak 200 m.

Total padatan terlarut (TSD)

Secara umum total padatan terlarut pada pengambilan sampel di titik 0, 100, dan 200 m tidak berbeda jauh, masing-masing sebesar 426, 453 dan 470 ppm, sedangkan pada masing-masing industri

besaran TSD lebih berfluktuasi. Air limbah dari Indatex memiliki nilai rata-rata TSD yang besarnya 242, namun pada Karunia Agung Tekstil yang merupakan industri tekstil sejenis menunjukkan rata-rata nilai TSD sebesar 751 ppm. Tampaknya tahapan proses produksi yang sedang berlangsung di dalam pabrik sangat mempengaruhi total padatan terlarut, terlihat dari besarnya perbedaan nilai TSD pada titik 0 m di Indatex dan di Karunia Agung Tekstil yakni masing-masing sebesar 248 dan 803 ppm.

Daya hantar listrik (EC)

Pengukuran nilai EC, baik pada air maupun sedimen tanah tidak menunjukkan pola nilai yang stabil. Hal ini kemungkinan disebabkan bervariasinya kondisi lingkungan di setiap titik pengambilan sampel. Dalam penelitian ini, di antara kesepuluh industri yang diamati nilai EC tertinggi ditunjukkan limbah Indomoto, baik pada pengukuran dalam air maupun sedimen tanah. Secara berturut turut rata-rata nilai EC air dan sedimen di pabrik tersebut adalah 1612 dan 2719 A. Hal ini disebabkan karena tekstur tanah pada saluran limbah Indomoto berupa pasir, sedangkan pada kesembilan industri lainnya berupa lumpur. Sebagaimana diketahui pasir memiliki kemampuan menghantarkan listrik lebih baik dari pada lumpur, karena kandungan ion-ionnya lebih banyak.

Kadar oksigen terlarut (DO)

Secara umum DO air akan menurun sejalan dengan semakin jauhnya lokasi pengamatan dari mulut saluran limbah. Pada titik 0, 100, dan 200 m dari mulut saluran limbah, nilai rata-rata DO semua industri secara berturut turut adalah 14,1, 13,5, dan 11,5 ppm. Angka ini sangat tinggi, merujuk pada Lee dkk. (1978) jika kriteria pencemaran hanya didasarkan DO, maka kondisi air limbah pada saluran pembuangan dikategorikan belum tercemar, karena nilainya ≥ 6 ppm. Tingginya kadar oksigen terlarut diduga karena selama proses produksi, air dialirkan secara cepat dan/atau sebelum dibuang air limbah dilewatkan pada saluran yang beriak atau kegiatan mekanis lain, sehingga memungkinkan oksigen terlarut di dalamnya. Beberapa industri melakukan aerasi dengan kincir (aerator) sebelum membuang air limbah ke saluran. Hal ini sangat jelas terlihat pada pengukuran DO air limbah Indo Acidatama yang nilainya secara berturut-turut 25,0, 21,8, dan 16,8 ppm. Pada saat pengukuran kincir aerasi sedang dioperasikan. Namun kadar DO air yang tinggi ini secara nyata juga disebabkan mulut saluran limbah terletak cukup tinggi, hingga membentuk air terjun yang memungkinkan terlarutnya oksigen ke badan air.

Variasi nilai DO air limbah antar kesepuluh industri sangat tinggi. Nilai rata-rata DO air limbah Indo Acidatama adalah 21,2 ppm, sedangkan Palur Raya hanya 6,6 ppm. Aerasi secara mekanis atau melewatkan air limbah melalui saluran yang bergelombang diduga menaikkan kadar DO sehingga membantu proses penguraian bahan organik limbah.

Tabel 2. Parameter fisik dan kimia pada saluran limbah berbagai jenis industri di kawasan Surakarta dan sekitarnya.

| Pabrik | Ulangan | Indo Acidatama | Palur Raya | Karunia Agung Tekstil | Indatex | Tyfountex | Indomoto | Tunggak Waru Semi | Konimex | Industri Batik Laweyan | Industri Tahu | Rerata (tanpa no. 10) |
|----------------|---------|----------------|------------|-----------------------|---------|-----------|----------|-------------------|---------|------------------------|---------------|-----------------------|
| Suhu air | 1 | 28.7 | 27.7 | 32.3 | 31.4 | 39.8 | 27.7 | 27.3 | 27.6 | 27.4 | 25.9 | 28.94 |
| | 2 | 27.9 | 27.7 | 31.7 | 31.0 | 35.3 | 28.9 | 35.0 | 27.0 | 26.5 | | 30.33 |
| | 3 | 28.1 | 27.2 | 30.5 | 30.5 | 27.0 | 29.5 | 34.6 | 27.1 | 26.4 | | 29.32 |
| | x | 28.6 | 28.2 | 32.5 | 32.3 | 35.7 | 30.7 | 34.6 | 29.9 | 29.8 | | |
| Suhu sedimen | 1 | 27.7 | 27.1 | 32.0 | 29.2 | 33.9 | 27.1 | 30.3 | 27.4 | 24.8 | 25.4 | 28.59 |
| | 2 | 26.2 | 28.3 | 30.4 | 29.7 | 29.8 | 27.2 | 35.0 | 27.0 | 25.7 | | 29.03 |
| | 3 | 28.7 | 28.7 | 29.0 | 29.0 | 27.6 | 28.5 | 34.4 | 27.0 | 24.9 | | 29.98 |
| | x | 27.5 | 28.0 | 30.5 | 29.3 | 30.4 | 27.6 | 33.2 | 27.1 | 25.1 | | |
| pH air | 1 | 6.45 | 7.59 | 11.02 | 7.90 | 6.16 | 7.27 | 7.01 | 6.85 | 8.14 | 6.69 | 7.71 |
| | 2 | 6.54 | 7.62 | 10.99 | 7.35 | 6.96 | 7.58 | 7.02 | 6.67 | 8.10 | | 7.87 |
| | 3 | 6.48 | 7.68 | 6.96 | 7.29 | 6.29 | 7.10 | 6.90 | 6.67 | 7.94 | | 7.38 |
| | x | 6.49 | 7.63 | 9.66 | 7.51 | 6.47 | 7.31 | 7.00 | 6.73 | 8.06 | | |
| pH sedimen | 1 | 6.50 | 6.72 | 10.89 | 6.42 | 5.85 | 6.71 | 6.78 | 6.78 | 6.93 | 6.72 | 7.18 |
| | 2 | 6.33 | 6.43 | 9.95 | 7.27 | 6.96 | 6.46 | 6.47 | 6.15 | 6.52 | | 7.17 |
| | 3 | 6.45 | 6.30 | 6.96 | 6.98 | 6.70 | 7.12 | 6.67 | 6.57 | 6.40 | | 7.02 |
| | x | 6.43 | 6.48 | 9.27 | 6.89 | 6.50 | 6.76 | 6.64 | 6.50 | 6.62 | | |
| TSD air | 1 | 224 | 596 | 803 | 248 | 462 | 599 | 496 | 325 | 541 | 544 | 426 |
| | 2 | 271 | 464 | 870 | 238 | 450 | 733 | 382 | 331 | 336 | | 453 |
| | 3 | 266 | 416 | 581 | 240 | 466 | 1065 | 496 | 329 | 365 | | 470 |
| | x | 254 | 492 | 751 | 242 | 459 | 799 | 458 | 328 | 414 | | |
| EC air | 1 | 448 | 1180 | 1597 | 500 | 783 | 1189 | 991 | 650 | 1085 | 1082 | 936 |
| | 2 | 540 | 929 | 1751 | 476 | 979 | 1461 | 766 | 664 | 668 | | 915 |
| | 3 | 1668 | 831 | 1159 | 481 | 932 | 2186 | 2996 | 659 | 735 | | 1294 |
| | x | 885 | 980 | 1502 | 486 | 898 | 1612 | 1584 | 658 | 829 | | |
| EC sedimen | 1 | 2030 | 1250 | 1467 | 1058 | 897 | 2638 | 1022 | 664 | 692 | 1083 | 1302 |
| | 2 | 2297 | 938 | 1170 | 499 | 887 | 3360 | 1021 | 641 | 673 | | 1274 |
| | 3 | 1379 | 648 | 1212 | 473 | 968 | 2159 | 985 | 669 | 652 | | 1016 |
| | x | 1902 | 945 | 1283 | 677 | 917 | 2719 | 1009 | 658 | 672 | | |
| DO air | 1 | 25.0 | 2.9 | 8.0 | 10.6 | 14.9 | 24.4 | 7.3 | 11.1 | 21.6 | 15.8 | 14.09 |
| | 2 | 21.8 | 9.6 | 9.2 | 10.8 | 15.5 | 20.9 | 7.3 | 8.6 | 15.6 | | 13.48 |
| | 3 | 16.8 | 7.4 | 9.1 | 7.0 | 13.4 | 9.2 | 15.9 | 8.8 | 13.2 | | 11.53 |
| | x | 21.2 | 6.63 | 8.77 | 9.47 | 14.6 | 18.2 | 10.2 | 9.5 | 16.8 | | |
| Tekstur tanah | | Lumpur | Lumpur | Lumpur | Lumpur | Lumpur | Pasir | Lumpur | Lumpur | Lumpur | Lumpur | |
| Kondisi lokasi | | Sungai | Sungai | Sungai | Sungai | Selokan | Selokan | Selokan | Sungai | Selokan | Selokan | |

Parameter biotik (biologi)

Parameter biotik yang dipilih dalam penelitian ini adalah plankton. Komunitas plankton merupakan campuran hewan atau tumbuhan kecil mengapung, kurang atau tidak dapat berenang dalam, sedikit atau tidak bergerak dan selalu mengikuti arus air (Edmonson, 1983). Fitoplankton dan zooplankton dapat digunakan sebagai indikator biologi tingkat pencemaran suatu perairan (Bukit, 1981), plankton sangat peka terhadap perubahan lingkungan (Mujosemedi, 1985). Dalam lingkungan akuatik, plankton dapat berperan sebagai filter biologi yang membantu pemulihan mutu air (Hadisusanto, 1992). Perubahan jumlah dan komposisi spesies plankton

pada lingkungan akuatik dapat digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan (Wiryanto, 1997).

Dalam penelitian ini diversitas/ keanekaragaman plankton pada kesepuluh lokasi industri yang diteliti, dimana masing-masing dengan jarak pengambilan sampel 0, 100, dan 200 m dari mulut saluran limbah cenderung bervariasi, namun kesemuanya dapat digolongkan dalam empat kelas (Tabel 3.). Fitoplankton terbagi dalam tiga kelas yaitu Cyanophyta, Chrysophyta (diatomae), dan Chlorophyta. Adapun zooplankton terbagi dalam kelas Rotifera, Flagellata, dan Ciliata. Kelas dengan jumlah anggota spesies terbanyak adalah Cyanophyta, Rotifera, Chlorophyta, Chrysophyta, Ciliata dan terakhir Flagellata.

Tabel 3. Keanekaragaman jenis plankton pada saluran air limbah berbagai jenis industri di Surakarta dan sekitarnya.

| No | Lokasi | Jarak (m) | Plankton | | | | | |
|-----|-------------------------|-----------|--|--|---|--|--------------------------|--|
| | | | Fitoplankton | | | Zooplankton | | |
| | | | Cyanophyta | Chrysophyta (diatom) | Chlorophyta | Rotifera | Flagelata | Ciliata |
| 1. | Indo Acidatama 1 | 0 | <i>Oscillatoria</i> sp (38) <i>Polycystis incerta</i> (4) | <i>Fragilaria capucina</i> (3) <i>Navicula</i> sp (6) <i>Nitzschia</i> sp (3) | <i>Chlorococcus</i> sp (1) <i>Closterium rectimarginatum</i> (8) <i>Closterium parvum</i> (4) | <i>Trichocerca cylindrica</i> (1) <i>Vorticella campanula</i> (3) <i>Epiphanes (Hydatina) senta</i> (1) <i>N. acuminata</i> (1) | - | <i>Paramecium</i> sp (6) |
| 2. | Indo Acidatama 2 | 100 | <i>Oscillatoria</i> sp (1) <i>P. incerta</i> (1) | - | - | <i>T. cylindrica</i> (3) <i>V. campanula</i> (3) | - | - |
| 3. | Indo Acidatama 3 | 200 | - | <i>Navicula</i> sp (1) <i>F. capucina</i> (1) | <i>Pediastrum simplex</i> (2) | <i>V. campanula</i> (11) | - | <i>Climacostomum virens</i> (4) <i>Paramecium</i> (2) |
| 4. | Palur Raya 1 | 0 | <i>P. incerta</i> (21) | - | <i>Spirogyra azygospora</i> (1) <i>Closteropsis longissima</i> (1) | <i>V. campanula</i> (10) | - | <i>C. virens</i> (2) |
| 5. | Palur Raya 2 | 100 | <i>P. incerta</i> (1) | <i>Navicula</i> sp (12) | - | <i>V. campanula</i> (1) <i>Notholca acuminata</i> (1) | - | <i>Paramecium</i> (61) |
| 6. | Palur Raya 3 | 200 | <i>P. incerta</i> (71) | - | - | <i>Stentor</i> (2) <i>Brachianus plicatilis</i> (5) <i>V. campanula</i> (6) <i>Filinia terminalis</i> (4) <i>Philodina roseola</i> (6) <i>Cephalodella auriculata</i> (2) | - | <i>Paramecium</i> sp (2) |
| 7. | Karunia Agung Tekstil 1 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 8. | Karunia Agung Tekstil 2 | 100 | - | - | <i>Chroococcus</i> sp (6) | <i>V. campanula</i> (6) | - | - |
| 9. | Karunia Agung Tekstil 3 | 200 | - | - | - | <i>P. roseola</i> (1) <i>V. campanula</i> (1) | - | - |
| 10. | Indatex 1 | 0 | - | <i>Navicula</i> sp (1) | - | <i>T. cylindrica</i> (1) <i>V. campanula</i> (3) | <i>Volvox aureus</i> (1) | - |
| 11. | Indatex 2 | 100 | - | <i>Navicula</i> sp (450) <i>Nitzschia</i> sp (20) <i>Gyrosigma</i> sp (95) | <i>Chroococcus</i> sp (1) <i>Cosmarium granatum</i> (1) | <i>N. acuminata</i> (1) | - | - |
| 12. | Indatex 3 | 200 | <i>P. incerta</i> (1) <i>Oscillatoria</i> sp (2) <i>Lyngbya contorta</i> (1) | <i>Navicula</i> sp (25) <i>Gyrosigma</i> sp (5) <i>Nitzschia</i> sp (3) <i>Surirella ovalis</i> (1) | <i>Cosmarium vitiosum</i> (1) <i>Gonatozygon aculeatum</i> (1) | - | - | - |
| 13. | Tyfoundtex 1 | 0 | - | - | <i>Chroococcus</i> sp (1) <i>S. azygospora</i> (1) | - | - | - |
| 14. | Tyfoundtex 2 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 15. | Tyfoundtex 3 | 200 | <i>Anabaena circinalis</i> (44) <i>P. incerta</i> (2) <i>Oscillatoria</i> sp (1) | <i>Navicula</i> sp (7) <i>Rhopalodia gibbs</i> (1) <i>Synedra alna</i> (2) <i>Gyrosigma</i> sp (4) | <i>Chroococcus</i> sp (3) <i>Asterococcus limaticus</i> (1) | <i>V. campanula</i> (5) | - | - |
| 16. | Indomoto 1 | 0 | <i>P. incerta</i> (1) | <i>Cymbella naviculiformis</i> (2) <i>Navicula</i> sp (1) | - | <i>P. roseola</i> (1) | - | - |
| 17. | Indomoto 2 | 100 | <i>P. incerta</i> (1) <i>L. contorta</i> (1) | <i>Navicula</i> sp (17) <i>S. ovalis</i> (3) | - | <i>V. campanula</i> (2) <i>F. terminalis</i> (1) <i>N. acuminata</i> (3) <i>Hexarthra (Pedalia) mira</i> (1) | - | - |
| 18. | Indomoto 3 | 200 | * | * | * | * | * | * |
| 19. | Tunggak Waru Semi 1 | 0 | - | - | <i>Sphaerocystis Schroeteri</i> (1) <i>Gonatozygon aculeatum</i> (1) | <i>V. campanula</i> (3) <i>F. terminalis</i> (1) | <i>V. aureus</i> (1) | <i>Paramecium</i> sp (49) |
| 20. | Tunggak Waru Semi 2 | 100 | - | <i>Navicula</i> sp (1) | - | <i>Trichocerca longiseta</i> (2) | - | - |
| 21. | Tunggak Waru Semi 3 | 200 | * | * | * | * | * | * |
| 22. | Konimex 1 | 0 | <i>L. contorta</i> (1) | - | <i>Scenedesmus dimorphus</i> (1) | <i>V. campanula</i> (8) <i>N. acuminata</i> (4) | - | - |
| 23. | Konimex 2 | 100 | <i>Anabaena</i> sp (4) | <i>Navicula</i> sp (12) | <i>Scenedesmus quadricauda</i> (3) <i>Pediastrum biradiatum</i> (1) <i>S. dimorphus</i> (1) | <i>H. mira</i> (1) <i>T. cylindrica</i> (3) | - | - |
| 24. | Konimex 3 | 200 | <i>Oscillatoria</i> sp (123) <i>L. contorta</i> (4) | <i>Navicula</i> sp (26) | <i>Trebouaria crassispina</i> (1) | <i>T. cylindrica</i> (2) <i>Cephalodella megalocaphala</i> (2) <i>Brachionus plicatilis</i> (1) <i>E. senta</i> (1) | <i>Euglena</i> sp (1) | <i>Massula ornata</i> (4) |
| 25. | Batik 1 | 0 | <i>Oscillatoria</i> sp (15) <i>L. contorta</i> (1) | <i>Navicula</i> sp (2) | - | <i>V. campanula</i> (2) | - | - |
| 26. | Batik 2 | 100 | <i>Oscillatoria</i> sp (27) <i>P. incerta</i> (1) | <i>Navicula</i> sp (3.717) | <i>Chroococcus</i> sp (4) | - | - | - |
| 27. | Batik 3 | 200 | <i>P. incerta</i> (33) <i>Oscillatoria</i> sp (13) | <i>Navicula</i> sp (29) <i>Nitzschia</i> sp (3) <i>Pinnularia</i> sp (1) | <i>S. quadricauda</i> (3) | <i>P. roseola</i> (20) <i>E. senta</i> (1) <i>N. acuminata</i> (4) <i>V. campanula</i> (2) <i>F. terminalis</i> (3) <i>B. plicatilis</i> (1) <i>Stentor</i> (1) | <i>Euglena</i> sp (5) | <i>Paramecium</i> sp (6) <i>C. virens</i> (1) |
| 28. | Tahu 1 | 0 | <i>Oscillatoria</i> sp (2) | - | - | <i>H. mira</i> (1) <i>V. campanula</i> (13) <i>F. terminalis</i> (2) | - | - |

Keterangan: *** data tidak tersedia.

Berdasarkan frekuensi kemunculan pada setiap titik pengambilan sampel, maka Chrysophyta yang paling sering muncul adalah *Navicula*, yang muncul pada 15 dari 26 sampel yang diamati. Rotifera yang paling sering muncul adalah *Vorticella campanula* yang juga muncul pada 15 dari 26 sampel yang diamati. Cyanophyta yang paling sering muncul adalah *Oscillatoria* yang muncul pada sembilan dari 26 sampel yang diamati. Spesies lain umumnya memiliki tingkat kemunculan yang jauh dari angka tersebut. Tingginya frekuensi kemunculan suatu spesies plankton pada air limbah dari berbagai lokasi dan jenis industri menunjukkan adanya kemampuan adaptasi yang tinggi. Boleh jadi mereka memiliki kode genetik dan sistem enzim yang beragam (isozim) untuk menjaga tetap berlangsungnya aktivitas metabolisme pada lokasi yang berbeda-beda.

Densitas plankton tertinggi ditunjukkan oleh *Navicula* yang dikoleksi dari industri batik Laweyan, yaitu sebesar 3,478 individu per liter air sampel (Tabel 4.). Spesies sama yang dikoleksi dari industri tekstil Indatex sebesar memiliki densitas sebesar 0,476 individu per liter, disusul *Oscillatoria* yang dikoleksi dari industri farmasi Konimex dengan densitas sebesar 0,123 individu per liter, serta *Gyrosigma* dari Indatex sebesar 0,1 individu per liter. Spesies lain dan lokasi industri lainnya memiliki densitas kurang dari 100 individu per liter air sampel.

Tabel 4. Densitas dan indeks diversitas plankton di saluran pembuangan air limbah (0-200 m) pada berbagai industri di Surakarta dan sekitarnya.

| No | Pabrik/industri | Densitas plankton/L | Indeks diversitas |
|-----|-----------------------|---------------------|-------------------|
| 1. | Batik Laweyan | 3.893 | 0.2791 |
| 2. | Tunggak Waru Semi | 0.059 | 0.2092 |
| 3. | Indatex | 0.613 | 0.1899 |
| 4. | Tahu | 0.018 | 0.1654 |
| 5. | Karunia Agung Tekstil | 0.014 | 0.1321 |
| 6. | Konimex | 0.204 | 0.1212 |
| 7. | Tyfountex | 0.072 | 0.1193 |
| 8. | Indomoto | 0.029 | 0.1127 |
| 9. | Palur Raya | 0.207 | 0.0906 |
| 10. | Indo Acidatama | 0.101 | 0.0599 |

Rendahnya densitas dan diversitas plankton menyebabkan rendahnya nilai indeks diversitas. Hal ini dapat digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran di lingkungan badan air. Menurut Wilhm (1975 dalam Herlian, 1990) perairan dengan nilai indeks diversitas (ID) plankton 0-1 digolongkan pada tingkat pencemaran berat, 1-2 pencemaran sedang, 2-3 pencemaran ringan, serta < 3 tidak tercemar. Sedangkan menurut Lee dkk. (1978) badan air dapat digolongkan tercemar berat apabila indeks diversitas planktonnya < 1, tercemar sedang 1-1,5, tercemar ringan 2-1,6, serta belum tercemar > 2.

Dalam penelitian ini semua air limbah dari semua lokasi penelitian memiliki nilai indeks diversitas < 1, sehingga baik merujuk kriteria Wilhm (1975) maupun

Lee dkk. (1978), semua badan air tersebut digolongkan tercemar berat. Indo Acidatama dan Palur Raya menempati ranking pencemaran paling tinggi. Di kalangan masyarakat Karanganyar dimana kedua pabrik ini berkedudukan, telah maffhum diketahui bahwa limbah keduanya cenderung lebih bermasalah dibandingkan pabrik-pabrik lain di zona industri Palur yang jumlahnya sekitar 60 industri itu. Kedua pabrik ini telah beberapa kali diprotes masyarakat, namun tampaknya perbaikan pengolahan limbah ke arah yang lebih sesuai kebutuhan hidup sehat masih belum dilaksanakan.

KESIMPULAN

Pengukuran parameter suhu air dan sedimen menunjukkan bahwa suhu rata-rata kesepuluh pabrik yang diamati lebih dari 28°C, dimana pada pabrik tertentu sangat jelas adanya pengenceran panas melalui saluran pembuangan. Derajat keasaman (pH) air dan sedimen lebih dari 7, menunjukkan adanya sifat alkali dari bahan-bahan yang digunakan dalam proses produksi pabrik. Total padatan terlarut bervariasi tergantung jenis pabrik. Daya hantar listrik sangat dipengaruhi jenis sedimen saluran limbah. Adapun DO air relatif tinggi karena adanya proses aerasi. Berdasarkan indeks diversitas plankton, semua air limbah kesepuluh pabrik digolongkan tercemar berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bukit, N. T. 1981. *Masalah Kualitas Air*. Bandung: Balai Besar Selulosa PT. Pupuk Kujang.
- Edmonson D. 1983. *Freshwater Biology*. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Hadisusanto, S. 1992. *Filter Biologi Untuk Penanganan Limbah Industri*. Yogyakarta: PAU Bioteknologi UGM.
- Herlian, A. 1990. *Pengaruh Limbah PGPS Madukismo Terhadap Kualitas Air Serta Indeks Diversitas Diatomae di Sepanjang Selokan Limbah dan Aliran Anak Sungai Winongo Yogyakarta*. [Skripsi]. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- Lee, T.D. 1978. *Handbook of Variables of Environmental Impact Assessment*. Arbor: An Arbor Science Publisher Inc.
- Mahida, U. N. 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: CV. Rajawali.
- Martopo, S. 1990. *Pencemaran Limbah Industri*. Yogyakarta: PPLH UGM.
- Mujosemedi, 1985. *Beberapa Aspek Pencemaran Limbah Pabrik PT. Batik Keris di Perairan Sungai Premulung Surakarta*. [Skripsi]. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- Sudarmadji, 1990. *Dampak Adopsi Teknologi Modern Terhadap Lingkungan Hidup di Indonesia*. Surakarta: UMS.
- Sutarno, dan A.D. Setyawan. 2002. *Sumberdaya Genetik (Genetic Resource) Unggulan di Kawasan Surakarta. Penataran dan Lokakarya (Penick) Hak Kekayaan Intelektual (HKI) Surakarta 17-20 September 2002*. Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi dan Lembaga Penelitian Universitas Sebelas Maret.
- Talkurputra, N. D. dan R. T. M. Sutamihardja. 1978. *Pencemaran Air Oleh Industri Tekstil di Indonesia*. Bogor: Pengelola Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup, Pasca Sarjana IPB.
- Wiryanto. 1997. *Pengaruh Limbah Cair Industri tekstil PT. Tyfoundtex Indonesia, Kartosuro, Sukoharjo terhadap Perubahan DO, BOD, Suhu, pH, Logam dan Plankton di Sungai Kudusan Sukoharjo dan Premulung Surakarta*. [Tesis]. Yogyakarta: Program Pasca Sarjana UGM.