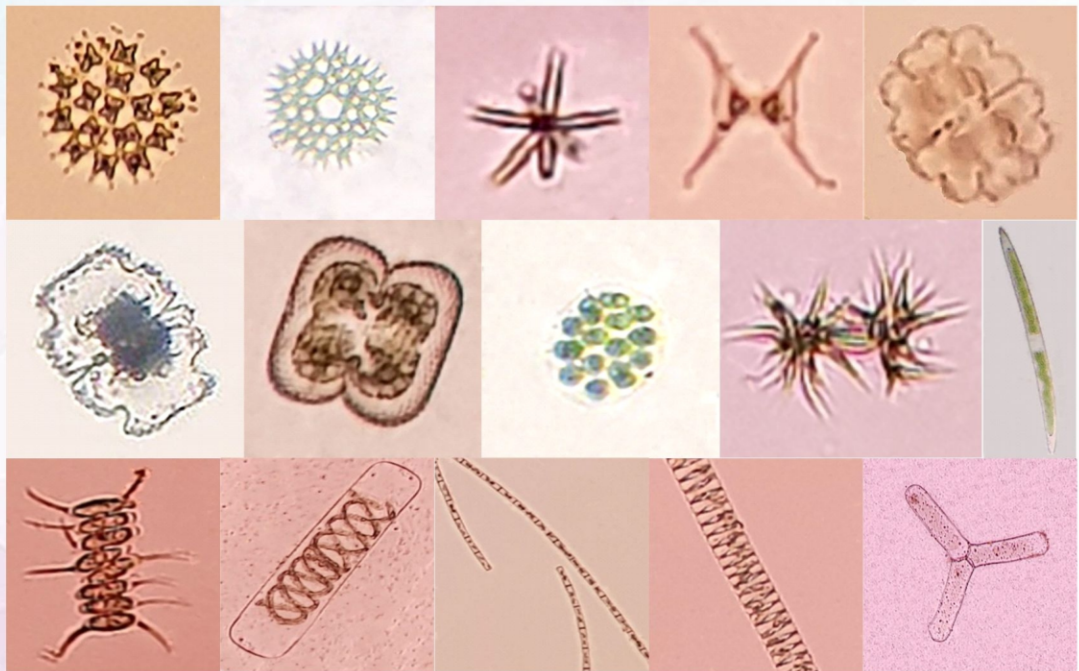


ISBN : 978-623-352-016-4

Metode Pengambilan dan Analisis **PLANKTON**



Keukeu K. Rosada
Sunardi


UNPAD
PRESS





Metode Pengambilan dan Analisis Plankton

Keukeu Kaniawati Rosada dan Sunardi
Cetakan Pertama, 2021



Hak Cipta @ 2021 pada penulis

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian

Atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari Penerbit

Judul: Metode Pengambilan dan Analisis Plankton

Penulis: Keukeu Kaniawati Rosada dan Sunardi

Desainer sampul: Gemilang Lara Utama

Diterbitkan oleh:



Unpad Press

Graha Kandaga, Gedung Perpustakaan Unpad
Jatinangor, Lantai IV

Jl. Raya Bandung-Sumedang (Ir. Soekarno) Km 21,
Jatinangor- 45363, Telp : (022) 84288888 ext 3806

e-mail: press@unpad.ac.id atau pressunpad@yahoo.co.id

web : <http://press.unpad.ac.id>

Anggota IKAPI dan APPTI

ISBN : 978-623-352-016-4

Kata Sambutan

Bismillahirrahmanirrohim,
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Pusat Unggulan Lingkungan dan Ilmu Keberlanjutan (PULIK) atau *Center for Environment and Sustainability Science (CESS)* merupakan pusat riset pertama di Indonesia yang mengembangkan kajian lingkungan dan ilmu keberlanjutan yang bersifat inter- dan transdisiplin dengan tema besar 'Ekologi Pembangunan'. Salah satu peran PULIK/CESS adalah mendiseminasikan hasil-hasil penelitian dan pengembangan metodologi melalui publikasi ilmiah pada berbagai jurnal nasional dan internasional, termasuk dalam bentuk buku. Oleh karena itu, PULIK/CESS sangat mendukung para penelitiannya dalam menerbitkan buku, antara lain dalam bentuk pemberian fasilitas untuk proses penyusunan buku, pengurusan ISSN dan HAKI sampai dengan penerbitan. Dukungan ini perlu dilakukan untuk meningkatkan semangat para peneliti PULIK/CESS agar dapat terus berkarya.

Buku "Metode Pengumpulan dan Analisis Plankton" ini merupakan karya peneliti PULIK/CESS di bidang ekologi perairan yang memadukan pedoman standar dengan pengalaman selama lebih dari 30 tahun melakukan penelitian di beberapa sungai besar di Indonesia. Buku ini menguraikan secara rinci metode dan teknik sampling serta analisisnya yang dikhususkan untuk plankton di perairan tawar. Buku yang dilengkapi dengan berbagai contoh ini disusun secara sistematis dan ditulis dengan bahasa yang memudahkan pembaca untuk mempraktikkan bagaimana pengambilan sampel dan analisis data plankton dilakukan. Dengan demikian, buku ini dapat dimanfaatkan oleh berbagai pihak seperti mahasiswa, akademisi, peneliti, swasta ataupun pihak lain yang berkepentingan dalam menentukan kualitas lingkungan suatu perairan dari perspektif komunitas planktonnya.

Akhirnya, semoga buku ini menjadi langkah awal dalam penerbitan buku-buku lainnya di bidang ekologi perairan serta menginspirasi para peneliti di luar bidang ekologi perairan sebagai bagian dari tanggungjawab akademik dalam mendiseminasikan hasil penelitian di bawah tema Ekologi Pembangunan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.
Ketua PULIK/CESS

Kata Pengantar

Bismillahirrahmanirrohim,
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Pencemaran air merupakan salah satu isu lingkungan yang terus terjadi di berbagai perairan di Indonesia baik di sungai, danau, ataupun laut. Salah satu indikator biologis yang dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan dan status tropiknya adalah plankton. Plankton merupakan organisme mikroskopis yang melayang di kolom perairan dan mengikuti arus air. Salah satu bagian penting untuk mengetahui kondisi suatu perairan dapat dilakukan dengan melihat hasil dari analisis komunitas plankton. Untuk dapat melakukan analisis komunitas plankton dengan baik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan metode pengambilan dan analisis plankton dengan baik dan benar.

Buku ini merupakan buku yang menguraikan tentang bagaimana melakukan pengambilan sampel plankton dan menganalisisnya secara tepat dan akurat dengan mempertimbangan berbagai kondisi lapangan. Di dalam buku ini dibahas secara terinci bagaimana menentukan titik sampling, pemilihan alat sampling sampai dengan teknik pengambilan dan pengawetan sampel. Pada bab analisis plankton, dibahas secara rinci juga mengenai pencacahan plankton dan analisis data beserta contohnya. Saat ini, ketersediaan buku teknis yang berguna untuk memandu pengambilan dan analisis sampel plankton, khususnya yang sesuai dengan kondisi perairan Indonesia, masih terbatas sehingga buku ini dapat menjadi solusinya.

Akhir kata, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan penyempurnaan buku senantiasa terbuka di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.
Penulis

Daftar Isi

Kata Sambutan	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
BAB 1 Ekosistem Perairan dan Kehidupan Plankton	1
1.1 Tipe Ekosistem Perairan.....	1
A. Ekosistem Perairan Laut	1
B. Ekosistem Perairan Payau.....	2
C. Ekosistem Perairan Tawar	2
1.2 Status Trofik	7
1.3 Plankton.....	8
1.4 Tujuan Analisis Plankton	11
1.5 Kondisi Lingkungan Penting Bagi Plankton	11
BAB 2 Pengambilan Sampel.....	16
2.1 Penentuan Stasiun Pengamatan dan Titik <i>Sampling</i>	16
2.2 Pemilihan Alat <i>Sampling</i>	18
A. Alat <i>Sampling</i>	19
B. Ukuran Jala <i>Plankton Net</i> dan Volume Sampel Air yang Disaring.....	27
2.3 Pelabelan Botol Sampel dan Buku Catatan.....	33
2.4 Teknik Pembilasan <i>Plankton Net</i>	36
2.5 Teknik Pengambilan Sampel	38
2.6 Teknik Pengawetan Sampel	44
BAB 3 Analisis Plankton	50
3.1 Pencacahan Plankton.....	50
A. Preparasi Sampel	50
B. Teori Jumlah Sub-Sampel Minimum	54
C. Teknik Pencacahan Plankton	56
D. Identifikasi Jenis Plankton.....	62
E. Pencatatan Hasil Identifikasi dan Pencacahan	74
3.2 Analisis Data.....	74
A. Kelimpahan Jenis Plankton	75
B. Indeks Keanekaragaman (<i>Diversity Index</i>)	76
C. Indeks Dominansi (<i>Dominance Index</i>)	77
D. Indeks Kemerataan (<i>Evenness Index</i>)	78
E. Indeks Kesamaan (<i>Similarity Index</i>)	78
F. Indeks Saprobik (<i>Saprobic Index</i>).....	79
3.3 Contoh Analisis Plankton	81
Daftar Pustaka	85
Lampiran.....	90
Ucapan Terimakasih	94

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Karakteristik Tingkat Trofik (Carlson & Simpson, 1996)	8
Tabel 1.2	Kategori Ukuran Plankton.....	9
Tabel 2.1	Karakteristik dari <i>Plankton Net</i> yang Umum Digunakan (APHA, 2017)	28
Tabel 2.2	Contoh Tabel Pencatatan Pengamatan Parameter Fisik dan Kimiawi Perairan pada Buku Catatan Lapangan.....	35
Tabel 3.1	Metode Bilik Hitung Secara Umum.....	56
Tabel 3.2	Tabel Data Hasil Identifikasi dan Pencacahan Plankton Metode Kennedy....	74
Tabel 3.3	Kriteria Kualitas Air Berdasarkan indeks diversitas Shannon-Wiener	77
Tabel 3.4	Hubungan Antara Indeks Saprobik dengan Tingkat Pencemaran Perairan (Dahuri, 1997)	80
Tabel 3.5	Contoh Tabel Data dan Penghitungan Kelimpahan Jenis Plankton pada MS. Excel.....	80
Tabel 3.6	Contoh Tabel Data dan Penghitungan Indeks Keanekaragaman (H), Indeks Dominansi (D), dan Indeks Kemerataan (E) pada MS. Excel.....	81
Tabel 3.7	Contoh Hasil Analisis Kelimpahan Jenis Plankton	82
Tabel 3.8	Nilai Indeks Keanekaragaman, Indeks Dominansi, dan Indeks Kemerataan pada Masing-masing Stasiun	83

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Pembagian zona daerah aliran sungai	3
Gambar 1.2	Contoh perairan mengalir: Sungai Citarum.....	4
Gambar 1.3	Pembagian zona perairan menggenang berdasarkan intensitas cahaya dan stratifikasi suhu	5
Gambar 1.4	Contoh perairan menggenang buatan. (a) Waduk Jatiluhur, (b) Situ Cisanti.....	6
Gambar 1.5	Contoh plankton berdasarkan kategori ukuran. 1. Pikoplankton: (a) <i>Synechococcus</i> , (b) <i>Synechocystis</i> 2. Nanoplankton: <i>Cryptomonas</i> . 3. Mikroplankton: (a) <i>Ceratium</i> , (b) <i>Asterionella</i> , (c) larva arthropod <i>Nauplii</i> , (d) <i>Peridinium</i> , (e) Ciliata. 4. Mesoplankton: (a) copepoda, (b) larva ikan, (c) cladocera, (d) koloni diatom <i>Microcystis</i> . 5. Megaplankton: (a) ubur-ubur, (b) krill	10
Gambar 2.1	Ilustrasi sungai dengan beberapa aktivitas terkait yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penentuan stasiun pengamatan	17
Gambar 2.2	Ilustrasi titik sampling pada perairan mengalir (tanda X)	18
Gambar 2.3	Ilustrasi danau dengan beberapa aktivitas terkait yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penentuan titik <i>sampling</i>	18
Gambar 2.4	Van Dorn Water <i>Sampler</i>	20
Gambar 2.5	Kemmerer Water <i>Sampler</i>	20
Gambar 2.6	<i>Plankton Net</i>	21
Gambar 2.7	Berbagai ukuran <i>plankton net</i>	22
Gambar 2.8	<i>Tow Net</i>	23
Gambar 2.9	<i>Wisconsin Net</i>	24
Gambar 2.10	<i>Birge Closing Net</i>	25
Gambar 2.11	<i>Puget Sound Net</i>	26
Gambar 2.12	<i>Continuous Plankton Recorder</i>	27
Gambar 2.13	Kain <i>nylon monofilament</i> dengan nomor yang berbeda dilihat di bawah mikroskop dengan perbesaran 100x.....	29
Gambar 2.14	Profil jumlah suku dari plankton yang terjaring pada perairan oligotrofik (sungai) dengan ukuran jala plankton (nomor kain) yang berbeda. Volume 7 dan 11 L menunjukkan volume optimum masing-masing dari <i>plankton net</i> no kain 100 dan 200 untuk memperoleh variasi suku plankton paling tinggi	32
Gambar 2.15	Profil jumlah suku dari plankton yang terjaring pada perairan eutrofik (sungai dan waduk) dengan ukuran jala plankton (nomor kain) yang berbeda. Volume 5 L menunjukkan volume optimum untuk memperoleh variasi suku plankton paling tinggi	33
Gambar 2.16	Contoh botol sampel plankton.....	34
Gambar 2.17	Contoh label yang ditempel pada botol sampel	34
Gambar 2.18	Kegiatan pengukuran parameter fisik dan kimiawi lingkungan perairan di lapangan.....	36
Gambar 2.19	Pembilasan <i>plankton net</i> dengan menggunakan <i>sprayer</i> dari (a) sisi bagian dalam <i>plankton net</i> , dan (b) bagian luar <i>plankton net</i>	37

Gambar 2.20	Kegiatan pengambilan, pembilasan, dan pemindahan sampel plankton di perairan mengalir yang dangkal	39
Gambar 2.21	Ilustrasi (a) Tarikan Horizontal dan (b) Tarikan Vertikal.....	42
Gambar 2.22	Diagram alir pengawetan sampel plankton	48
Gambar 2.23	Kegiatan pengawetan sampel plankton di lapangan sebelum dibawa ke laboratorium. (a) pemberian lugol pada sampel plankton, (b) sampel plankton yang telah diberi lugol, (c) penyimpanan sampel plankton yang telah diawetkan pada <i>coolbox</i> berisi <i>ice pack</i>	49
Gambar 3.1	Contoh pengenceran sampel plankton sebanyak dua kali (2X)	51
Gambar 3.2	Contoh pemekatan sampel plankton sebanyak dua kali (X/2).....	54
Gambar 3.3	Desain bilik hitung Sedgwick Rafter dan protokol penghitungan (a) Foto Sedgwick Rafter (https://qualividros.com/); (b) Pengisian bilik dengan suspensi plankton; (c) Penghitungan dalam satu kotak; (d) Arah penghitungan tiap baris	58
Gambar 3.4	Bilik hitung Palmer-Maloney	59
Gambar 3.5	(a) Bilik hitung Hemocytometer Neubauer Improved (http://www.uniscienlab.com) dan (b) Ilustrasi kotak yang dihitung pada bilik Hemocytometer	60
Gambar 3.6	(a) Bilik hitung Petroff-Hausser dan (b) ilustrasi bilik Petroff-Hausser	61
Gambar 3.7	(a) <i>Oscillatoria</i> sp., (b) Koloni <i>Microcystis</i> sp., (c) <i>Spirulina</i> sp., (d) <i>Lyngbya</i> sp.....	65
Gambar 3.8	(a) <i>Pediastrum boryanum</i> , (b) <i>Pediastrum</i> sp., (c) <i>Actinastrum</i> sp., (d) <i>Staurastrum</i> sp., (e) <i>Euastrum bidentatum</i> , (f) <i>Euastrum turgidum</i> , (g) <i>Cosmarium</i> sp., (h) <i>Eudorina</i> sp., (i) <i>Selenastrum</i> sp., (j) <i>Closterium</i> sp., (k) <i>Hydrodictyon</i> sp., (l) <i>Scenedesmus armatus</i> , (m) <i>Spirogyra</i> sp., (n) <i>Mougeotia</i> sp., (o) <i>Ulothrix</i> sp.	66
Gambar 3.9	(a) <i>Rhopalodia</i> sp., (b) <i>Cymbella</i> sp., (c) <i>Synedra</i> sp., (d) <i>Gomphonema</i> sp., (e) <i>Anomoeneis</i> sp., (f) <i>Melosira</i> sp., (g) <i>Fragilaria</i> sp.....	67
Gambar 3.10	<i>Peridinium</i> sp.....	68
Gambar 3.11	(a) <i>Euglena</i> sp., (b) <i>Phacus</i> sp.....	69
Gambar 3.12	<i>Cyclops</i> sp.	70
Gambar 3.13	<i>Moina</i> sp.....	71
Gambar 3.14	(a) <i>Brachionus</i> sp., (b) <i>Monostyla</i> sp., (c) <i>Trichocerca</i> sp., (d) <i>Philodina</i> sp.....	72
Gambar 3.15	(a) <i>Arcella</i> sp., (b) <i>Euglypha</i> sp., (c) <i>Stentor</i> sp., (d) <i>Keratella</i> sp., (e) <i>Centropyxis</i> sp.	73
Gambar 3.16	Tahapan <i>subsampling</i> sampel air hingga diperoleh jumlah sel yang teramati (n) di bawah mikroskop.....	76
Gambar 3.17	Kelimpahan jenis plankton pada Stasiun I, II, dan III.....	83

BAB 1

Ekosistem Perairan dan Kehidupan Plankton

Ekosistem perairan merupakan ekosistem dengan air sebagai medium dominan yang ditempati oleh organisme di ekosistem tersebut. Keberadaan dan sifat perairan seperti kandungan nutrisi yang ditunjukkan dengan tingkatan trofik menjadi penentu kehidupan organisme perairan seperti plankton. Plankton merupakan organisme yang penting dalam ekosistem perairan karena merupakan sumber makanan paling bawah dalam rantai makanan, sekaligus dapat menjadi indikator kualitas perairan. Dengan demikian, analisis plankton penting untuk dilakukan.

1.1 Tipe Ekosistem Perairan

Secara umum ekosistem perairan berdasarkan salinitasnya terbagi menjadi ekosistem perairan laut, payau, dan tawar.

A. Ekosistem Perairan Laut

Ekosistem laut merupakan ekosistem akuatik terbesar di bumi yang dicirikan dengan salinitas tinggi. Ekosistem laut menutupi 71% permukaan bumi. Salinitas dari ekosistem laut berada pada rentang 33‰ hingga 37‰ dengan rata-rata 35‰ (Rich & Maier, 2015). Ekosistem laut meliputi beberapa zona, yaitu:

a. Pantai (*Coastal*)

Pantai adalah daerah dimana daratan bertemu dengan lautan. Perairan pantai menempati 8-10% dari permukaan laut dan hanya 0,5% dari volume laut. Perairan pantai dipengaruhi oleh interaksi dan fluktuasi kompleks dari materi antara daratan, lautan, dan atmosfer sehingga menjadi lingkungan yang berubah secara konstan (Hoepffner & Zibordi, 2008).

b. Intertidal

Zona Intertidal merupakan daerah seluas beberapa meter yang berada dekat dengan pantai dan secara konstan terpapar dan tertutupi oleh air pasang

laut sehingga memiliki muka air yang selalu berubah. Zona intertidal merupakan daerah terkecil dari keseluruhan lautan. Pada saat air surut, organisme akuatik dan sedimen dapat secara mudah diobservasi dan dikoleksi tanpa peralatan khusus (Nybakken, 1992).

c. Laut Lepas (*Open Ocean/ Offshore System*)

Laut lepas merupakan daerah mulai dari tepi luar landasan kontinen dan membentang dari permukaan hingga ke bagian terdalam laut. Laut lepas yang luas dan kompleks terbagi menjadi beberapa zona yang masing-masing memiliki ciri fisik dan biologis berbeda. Zona pelagis dari laut lepas lebih lanjut terbagi menjadi zona epipelagis, mesopelagis, bathipelagis, dan benthopelagis. Zona ini terdeliniasi dengan kedalaman dan penetrasi relatif cahaya matahari melalui air (Duxbury & Duxbury, 1999; NOAA Ocean Explorer, 2006).

B. Ekosistem Perairan Payau

Perairan payau merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan perairan dengan salinitas di antara perairan tawar dan laut, dan sering merupakan daerah transisi dimana kedua perairan bercampur. Muara, dimana bagian dari sungai bertemu dengan laut, merupakan contoh dari perairan payau yang paling umum. Muara merupakan lingkungan dengan variabel tinggi karena memiliki salinitas yang dapat berubah secara drastis dalam jangka waktu yang pendek, berada pada kisaran 10-32‰ dan bergantung pada siklus pasang surut (Ducklow & Shiah, 1993).

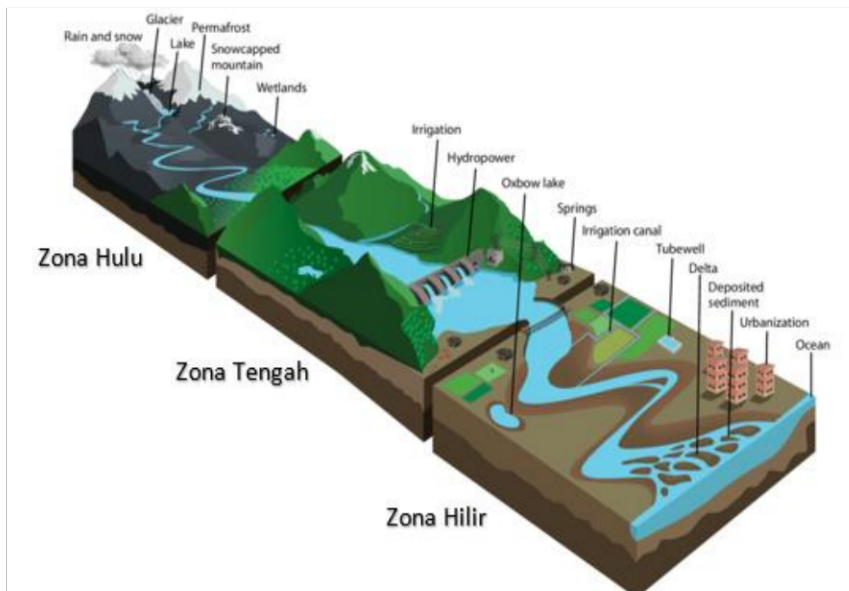
C. Ekosistem Perairan Tawar

Air tawar dapat berasal dari dua sumber, yaitu air permukaan dan air tanah. Perairan yang termasuk ke dalam air permukaan adalah sungai, danau, waduk, rawa, dan badan air lainnya yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah (Effendi, 2003). Air permukaan sendiri secara umum dibagi menjadi dua, yaitu perairan mengalir (lotik) dan perairan menggenang (lentic).

a. Perairan Mengalir (Lotik)

Karakteristik perairan lotik adalah adanya arus dengan kecepatan yang bervariasi. Contoh ekosistem perairan lotik adalah sungai, kanal, dan parit.

Kehidupan organisme di perairan lotik ditentukan oleh kecepatan arus, erosi, dan sedimentasi di perairan tersebut. Sungai sendiri memiliki arus dengan kecepatan antara 0,1-1,0 m/s yang dipengaruhi oleh waktu, iklim, dan pola drainase (Effendi, 2003). Daerah aliran sungai dibagi menjadi tiga zona yaitu zona hulu, zona tengah, dan zona hilir seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Lihawa, 2017). Contoh perairan mengalir adalah Sungai Citarum (Gambar 1.2).



Gambar 1.1 Pembagian zona daerah aliran sungai (Nepal *et al.*, 2018)



Gambar 1.2 Contoh perairan mengalir: Sungai Citarum

b. Perairan Menggenang (Lentik)

Karakteristik perairan lentik adalah air yang menggenang dan tidak adanya arus. Perairan lentik dibedakan menjadi perairan menggenang alami dan buatan.

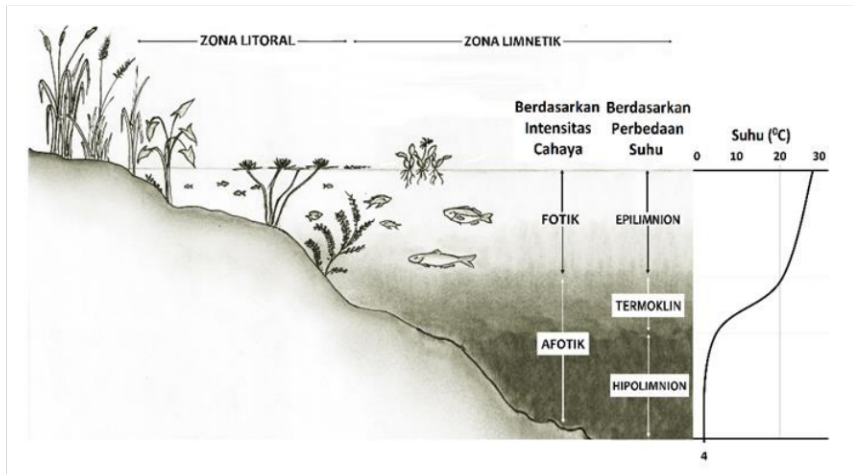
1) Perairan Menggenang Alami

Secara alami perairan lentik terbentuk karena aktivitas tektonik dan/atau aktivitas vulkanik. Contoh dari perairan lentik alami adalah danau, rawa, telaga, dan situ. Danau adalah genangan air yang amat luas dan dikelilingi oleh daratan. Tidak adanya arus pada danau membuat waktu tinggal air berlangsung lama. Perairan danau dibagi menjadi beberapa zona berdasarkan intensitas cahaya yang masuk dan berdasarkan perbedaan suhu pada tiap kedalaman.

Berdasarkan intensitas cahaya zona perairan danau dibagi menjadi zona fotik dan zona afotik. Zona fotik adalah zona atau lapisan perairan yang masih mendapatkan cahaya matahari yang termasuk didalamnya zona litoral dan zona limnetik (Gambar 1.3). Zona litoral merupakan daerah yang dangkal berdekatan dengan tepi danau, dicirikan dengan intensitas cahaya yang optimal serta tumbuhan berakar dan alga yang mengapung tumbuh pada zona ini. Zona limnetik adalah daerah yang jauh dari tepi danau namun masih dapat ditembus

cahaya, pada zona ini fitoplankton berperan sebagai sumber makanan bagi zooplankton, ikan, dan hewan lainnya. Zona afotik adalah daerah yang tidak dapat ditembus oleh cahaya matahari, yang termasuk kedalam zona afotik adalah zona profundal, pada zona ini dapat ditemukan benthos, bakteri, dan makhluk hidup lain yang dapat hidup secara anaerob.

Berdasarkan perbedaan suhu pada setiap kedalaman, danau terbagi menjadi tiga strata, yaitu epilimnion, termoklin atau metalimnion, dan hipolimnion (Effendi, 2003). Epilimnion adalah lapisan bagian atas perairan yang hangat dengan suhu yang relatif konstan. Termoklin atau metalimnion adalah lapisan yang memiliki perubahan suhu dan panas secara vertikal yang relatif besar. Hipolimnion adalah lapisan yang lebih dingin dan perbedaan suhu secara vertikal lebih kecil.



Gambar 1.3 Pembagian zona perairan menggenang berdasarkan intensitas cahaya dan stratifikasi suhu

2) Perairan Menggenang Buatan

Perairan lentik buatan adalah perairan yang dibentuk dengan sengaja oleh manusia dengan tujuan tertentu, contohnya adalah waduk dan situ. Waduk merupakan perairan lentik yang dibangun manusia dengan cara membendung sungai, contohnya ialah Waduk Jatiluhur (Gambar 1.4(a)). Waduk berfungsi

sebagai sumber air, pembangkit listrik, perikanan, dan pariwisata. Situ, contohnya Situ Cisanti (Gambar 1.4(b)), adalah danau buatan yang merupakan hulu sungai Citarum (Citarum Kilometer 0) yang menampung air dari tujuh mata air utama Sungai Citarum.



(a)



(b)

Gambar 1.4 Contoh perairan menggenang buatan. (a) Waduk Jatiluhur, (b) Situ Cisanti

1.2 Status Trofik

Trofik berasal dari bahasa Yunani “Trophicos” yang berarti makanan. Dalam ilmu perairan, status atau tingkatan trofik menunjukkan kondisi atau kualitas nutrisi dari suatu badan perairan. Istilah status trofik umumnya lebih sering digunakan pada badan perairan menggenang (lentik) seperti danau. Secara konvensional, tingkatan trofik pada badan perairan umumnya berkaitan erat dengan kandungan nitrogen dan fosfor (Hasler, 1947). Secara umum, tingkatan trofik dibagi ke dalam 3 kelompok besar:

1. Oligotrofik: badan perairan dengan kadar nutrisi atau tingkat kesuburan rendah
2. Mesotrofik: Badan perairan dengan kadar nutrisi atau tingkat kesuburan sedang
3. Eutrofik: Badan perairan dengan kadar nutrisi atau tingkat kesuburan tinggi

Dalam perkembangannya, tingkatan trofik berkembang menjadi indeks terkuantifikasi yang bersifat multidimensional dengan menggabungkan beberapa parameter fisik, kimia, dan biologis yang menghasilkan “Indeks Status Trofik” atau *Trophic State Index* (TSI) atau dikenal juga sebagai Carlson’s TSI (Carlson, 1977). Carlson menambahkan status hipereutrofik untuk menggambarkan kondisi badan perairan yang sangat subur sehingga menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan (*algae blooming*). Kondisi ini seringkali menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam badan perairan menurun secara signifikan dan mengganggu ekosistem di bawah permukaan air. Secara umum, karakteristik dari masing-masing tingkatan trofik dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Dalam kaitannya dengan pengambilan sampel plankton, tingkatan trofik dapat digunakan sebagai acuan awal untuk memprediksi berapa volume sampel yang harus diambil. Berdasarkan APHA (2017), pada perairan oligotrofik volume sampel air yang dikumpulkan minimal sebanyak 6 L, sementara untuk perairan eutrofik cukup diambil sebanyak 1 L.

Pengamatan visual kepadatan biota perairan (tumbuhan air dan ada tidaknya *algae blooming*) serta nilai transparansi merupakan cara paling murah dan sederhana untuk memprediksi tingkat trofik dari suatu badan perairan. Namun, untuk badan perairan yang transparansinya dipengaruhi oleh partikulat non-algae, parameter ini menjadi bias

dan tidak akurat (Baban, 1996). Selain itu, pengamatan visual kepadatan biota perairan akan menjadi parameter yang bersifat subjektif.

Tabel 1.1 Karakteristik Tingkat Trofik (Carlson & Simpson, 1996)

Parameter	Oligotrofik	Mesotrofik	Eutrofik	Hipereutrofik
Transparansi (m)	>8–4 (Sangat jernih/sampai dasar)	4–2 (jernih)	2–0,5	<0,5
Biota perairan	Algae dalam jumlah yang sangat rendah	Tanaman air terapung dalam jumlah yang tidak terlalu padat	Didominasi oleh tanaman air atau algae	<i>Algae blooming</i>
Total fosfor (µg/L)	0–12	12–24	24–96	96–384
Klorofil (µg/L)	0–2,6	2,6–20	20–56	56–155
Trophic State Index (TSI)	<30–40	40–50	50–70	>70

1.3 Plankton

Plankton (dari kata Yunani “planktos” yang berarti pengembara atau pengapung) merupakan komunitas organisme mikroskopis yang hidup melayang di kolom perairan dan mengikuti arus air. Plankton memiliki ukuran tubuh yang sangat bervariasi. Hal tersebut memiliki implikasi yang signifikan secara ekologis dan fisiologis bagi plankton seperti memengaruhi asimilasi nutrisi terlarut di lingkungan serta memengaruhi kemampuan sel plankton untuk mengatur posisi pada kedalaman dengan cahaya dan nutrisi yang sesuai untuk pertumbuhan (Peter, 1983). Kategori berbagai ukuran plankton dapat dilihat pada Tabel 1.2 dan contohnya dapat dilihat pada Gambar 1.5. Berdasarkan ukurannya, plankton dikelompokkan menjadi femtoplankton, picoplankton, nanoplankton, mikroplankton, makroplankton, dan megaplankton. Mikroplankton, mesoplankton, dan makroplankton disebut juga sebagai net plankton (Castro & Huber, 2019)

Lebih lanjut, organisme planktonik dapat dibedakan menjadi fitoplankton dan zooplankton berdasarkan fungsi dalam tingkatan trofik. Fitoplankton (‘phyto’=tanaman)

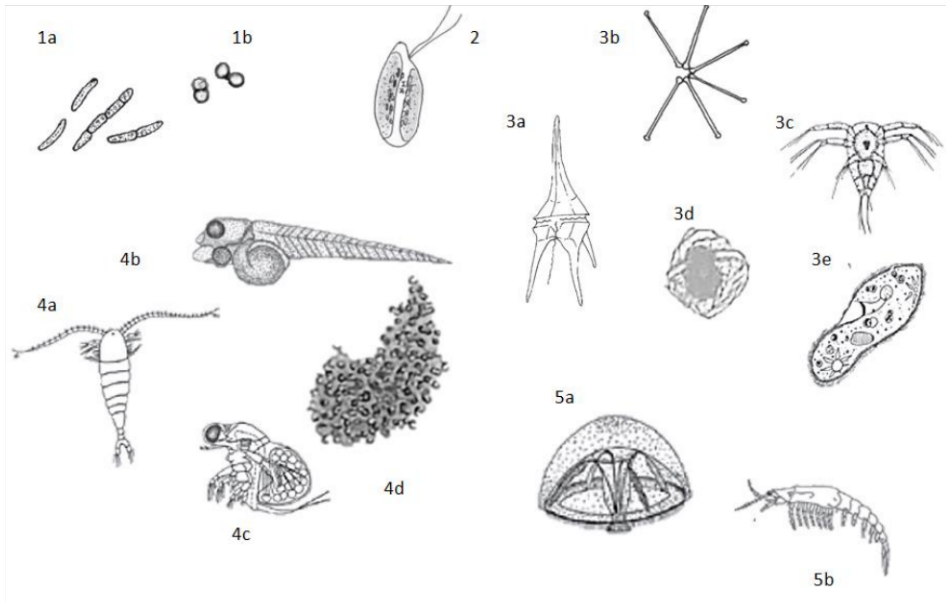
atau sering disebut alga merupakan organisme autotrofik sederhana yang termasuk salah satu kelompok organisme fotosintetik terbesar di perairan. Fitoplankton memang tidak terdiferensiasi seperti tumbuhan tingkat tinggi namun uniknya memiliki beragam pigmen fotosintetik, bentuk, dan ukuran. Sementara itu, zooplankton ('zoon' = hewan) merupakan organisme uniseluler atau multiseluler heterotrof yang berperan sebagai konsumen dalam *microbial loop* (jaring makanan mikroorganisme) di perairan. Zooplankton memiliki kemampuan lokomosi terbatas serta dapat berada di lingkungan pelagis baik sebagai dewasa (holoplankton = seluruh daur hidupnya bersifat planktonik) maupun hanya pada fase telur dan larva (meroplankton = sebagian daur hidupnya bersifat planktonik) (Bathmann *et al.*, 2001).

Tabel 1.2 Kategori Ukuran Plankton
(Dimodifikasi dari Sieburth *et al.*, 1978; Suthers & Rissik, 2008; Bellinger & Sigeo, 2015)

Kategori	Ukuran Linear (Sel/ Diameter Koloni) (μm)	Biovolume (μm^3)	Organisme Uniseluler/Tunggal	Organisme Koloni
Femtoplankton	<0,2	-	Virus laut	
Pikoplankton	0,2 - 2	$4,2 \times 10^{-3}$ - 4,2	Bakteri fotosintetik (bakterioplankton) Alga hijau biru <i>Synechococcus</i> <i>Synechocystis</i>	
Nanoplankton	2 - 20	$4,2$ - $4,2 \times 10^3$	Alga hijau biru <i>Cryptomonas</i> Diatom; Flagellata; Ciliata; Radiolaria; Coccolithophorids	
Mikroplankton	20 - 200	$4,2 \times 10^3$ - $4,2 \times 10^6$	Dinoflagellata <i>Ceratium</i> , <i>Peridinium</i> Foraminifera; Ciliata; Nauplii	Diatom <i>Asterionella</i>
Mesoplankton	200 - 20000	$>4,2 \times 10^6$	Copepoda; Cladocera; Larva organisme benthik dan larva ikan	Alga hijau biru <i>Anabaena</i> <i>Microcystis</i>
Makroplankton	20000 - 200000	-	Organisme pengapung yang terlihat jelas seperti kril	
Megaplankton	>200000	-	Organisme pengapung yang terlihat jelas seperti ubur-ubur, ikan dan lain- lain	

*Nilai biovolume berdasarkan rumus volume bola ($\text{volume} = 4/3\pi r^3$).

Catatan: Kategori ukuran di Tabel 1.2 tidak menggambarkan divisi taksonomi tertentu karena dalam tiap divisi sendiri memiliki variasi ukuran yang tinggi.



Gambar 1.5 Contoh plankton berdasarkan kategori ukuran. 1. Pikoplankton: (a) *Synechococcus*, (b) *Synechocystis* 2. Nanoplankton: *Cryptomonas*. 3. Mikroplankton: (a) *Ceratium*, (b) *Asterionella*, (c) larva arthropod *Nauplii*, (d) *Peridinium*, (e) Ciliata. 4. Mesoplankton: (a) copepoda, (b) larva ikan, (c) cladocera, (d) koloni diatom *Microcystis*. 5. Megaplankton: (a) ubur-ubur, (b) krill (Dimodifikasi dari Suthers & Rissik, 2008; Bellinger & Sigege, 2015)

Plankton memiliki peran penting sebagai indikator biologis pada kualitas perairan dan status trofik karena merespon secara cepat terhadap perubahan lingkungan. Secara khusus, fitoplankton berperan sebagai dasar dari rantai makanan di sistem akuatik, sebagai transduser energi yang mengubah energi matahari menjadi energi kimiawi (makanan), dan sebagai mediator berbagai siklus elemen seperti karbon, nitrogen, dan sulfur. Sedangkan zooplankton meneruskan energi ini ke trofik yang lebih tinggi sehingga menjadi penghubung antara energi dari produsen ke konsumen-konsumen lain. Selain itu, zooplankton berperan sebagai indikator untuk memonitor dan menilai berbagai bentuk pencemaran di perairan seperti asidifikasi, eutrofikasi, pencemaran pestisida, dan toksin alga. Lebih lanjut zooplankton juga telah digunakan untuk meningkatkan kualitas perairan, khususnya menggunakan pengetahuan mengenai perilaku makan mereka (Suthers & Rissik, 2008).

Komunitas zooplankton dipengaruhi oleh kuantitas dan kualitas fitoplankton serta status trofik perairan. Hal tersebut dapat memengaruhi komposisi jenis, struktur, ukuran tubuh, dan produktivitas komunitas ini (Jounne *et al.*, 2008; Jakhar, 2013; Singh *et al.*, 2013). Analisis komunitas plankton merupakan salah satu bagian penting untuk mengetahui kondisi suatu perairan.

1.4 Tujuan Analisis Plankton

Plankton merupakan organisme yang menempati posisi paling dasar dalam piramida ekologi perairan. Umumnya, masing-masing jenis plankton memiliki karakteristik kondisi lingkungan yang berbeda untuk bertahan hidup. Sebagai contoh, *Paramecium* lebih mudah ditemui pada perairan yang tercemar bahan organik tinggi, sementara *Daphnia* hanya mampu bertahan di perairan yang pencemarannya relatif rendah. Perbedaan karakteristik kondisi lingkungan ini menyebabkan populasi plankton menjadi populasi yang paling mudah dipengaruhi perubahan fisik, kimiawi dan biologis atau stress yang diterima lingkungan. Oleh sebab itu, analisis plankton berupa identifikasi dan enumerasi jenis plankton pada suatu badan perairan merupakan suatu parameter yang penting untuk dilakukan, karena populasi plankton dapat memberikan gambaran dan pemahaman lebih mendalam tentang kondisi atau kualitas suatu badan perairan.

1.5 Kondisi Lingkungan Penting Bagi Plankton

Kehadiran, kelimpahan, dan persebaran plankton di suatu perairan dipengaruhi oleh kualitas lingkungan perairan. Kualitas perairan ditentukan oleh komponen yang menyusun lingkungan perairan tersebut, baik itu komponen biotik (organisme) maupun abiotik (fisik dan kimiawi). Struktur komunitas plankton yang terbentuk di suatu lingkungan perairan ditentukan oleh kemampuan adaptasi plankton terhadap lingkungannya. Setiap jenis plankton memiliki respons yang berbeda terhadap komponen lingkungan habitatnya dan memiliki kemampuan yang berbeda dalam memanfaatkan nutrisi yang tersedia (Garno, 2002). Hal ini bergantung pada rentang nilai komponen lingkungan yang ditoleransi oleh setiap jenis plankton. Data kondisi lingkungan juga sangat penting ketika hasil analisis diinterpretasikan dan sering

membantu menjelaskan perubahan yang tidak biasa karena variasi karakter lingkungan akuatik. Beberapa komponen atau faktor lingkungan perairan yang dapat memengaruhi kehadiran dan kelimpahan plankton, yaitu:

1. Faktor Biologis

a) Bakteri

Bakteri merupakan komponen biotik di perairan yang berperan sebagai pengurai atau dekomposer dengan hasil dekomposisi unsur-unsur mineral sebagai nutrisi, yang kemudian dimanfaatkan oleh fitoplankton dalam metabolismenya (Kunarmo & Agustin, 2012). Selain sebagai pengurai, bakteri juga berperan menjadi sumber makanan bagi zooplankton dari filum protozoa, seperti dari kelas Ciliata (Lestari & Hartati, 2017).

b) Predator

Kelimpahan plankton di suatu perairan dipengaruhi oleh keberadaan predator. Fitoplankton yang menduduki tingkat trofik I berperan sebagai sumber makanan bagi zooplankton. Zooplankton memegang peranan penting dalam pengendalian besar populasi fitoplankton di suatu perairan (Rachman, 2011). Begitupun dengan zooplankton tidak lepas dari predasi, zooplankton berperan sebagai sumber nutrisi bagi organisme yang menempati tingkat trofik yang lebih tinggi.

2. Faktor Fisik

a) Musim

Musim memengaruhi tingkat curah hujan, dan curah hujan memengaruhi penetrasi cahaya, salinitas, suhu, serta kecerahan suatu perairan. Sehingga setiap perubahan karakteristik perairan yang terjadi dapat memengaruhi keberadaan plankton di perairan (Nirmalasari *et al.*, 2016).

b) Suhu

Suhu air merupakan salah satu faktor abiotik yang memegang peranan penting bagi kehidupan organisme. Suhu dapat memengaruhi metabolisme dan perkembangbiakan komunitas plankton. Peningkatan suhu sebesar 10°C

menyebabkan konsumsi oksigen meningkat sekitar 2-3 kali lipat. Suhu juga berperan penting dalam pengaturan aktivitas suatu organisme. Perubahan suhu dapat menjadi isyarat bagi suatu organisme untuk memulai atau mengakhiri berbagai aktivitas, seperti reproduksi (Nybakken, 1992). Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan organisme akuatik adalah sebesar 20°C-30°C (Effendi, 2003).

c) Arus

Arus berpengaruh terhadap persebaran plankton, di samping itu arus juga dapat mengangkat nutrisi yang terkumpul di dasar perairan sehingga berpengaruh terhadap kehadiran dan kelimpahan plankton.

d) Kecerahan

Nilai kecerahan dapat dipengaruhi oleh padatan tersuspensi, keadaan cuaca, dan warna air (Effendi, 2003). Kecenderungan berpengaruh terhadap proses fotosintesis fitoplankton, apabila terjadi penurunan kecerahan maka proses fotosintesis dapat terganggu (Hardiyanto *et al.*, 2012). Sementara bagi zooplankton, penurunan kecerahan membatasi ruang gerak zooplankton dalam migrasi secara vertikal.

3. Faktor Kimiawi

a) Derajat Keasaman (pH)

Perubahan pH atau derajat keasaman air dapat memengaruhi reaksi fisiologis dari berbagai jaringan maupun reaksi enzim pada plankton. Umumnya kisaran pH yang baik untuk kehidupan fitoplankton berkisar antara 6-9 (Odum, 1996). Sedangkan bagi zooplankton berkisar antara 6-8 (Kristanto, 2004).

b) Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*)

Oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Kadar oksigen yang terlarut dalam perairan alami bervariasi, bergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer (Effendi, 2003). Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sebesar 10%. Oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari hasil proses fotosintesis oleh fitoplankton atau tanaman air lainnya, serta difusi dari udara (Hariyadi *et al.*, 1992).

Kehidupan organisme akuatik bergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen terlarut minimal yang diperlukan. Hampir seluruh organisme akuatik hidup optimal pada kondisi dengan kelarutan oksigen >5 mg/L (Effendi, 2003).

c) Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*)

BOD merupakan pengukuran jumlah oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme aerobik untuk mendekomposisi material organik di perairan. BOD pada periode waktu tertentu bergantung pada suhu, konsentrasi nutrisi, dan enzim yang tersedia untuk populasi mikroba (Reid, 2011). BOD penting sebagai parameter kondisi perairan karena BOD menyediakan indeks untuk menilai efek yang akan dikeluarkan air limbah terhadap lingkungan. Semakin tinggi nilai BOD, maka semakin besar jumlah material organik atau 'makanan' yang tersedia bagi mikroorganisme aerobik. Jika laju konsumsi DO mikroba melebihi suplai DO dari tumbuhan akuatik, fotosintesis alga, atau difusi dari udara, maka akan tercipta kondisi yang tidak menguntungkan bagi organisme akuatik. Deplesi DO dapat menyebabkan stres terhadap organisme akuatik, dan lebih lanjut dapat menyebabkan hipoksia atau lingkungan anoksik (RealTech, 2018).

d) Padatan Terlarut Total (*Total Dissolved Solid/TDS*)

TDS adalah materi terlarut dalam air dengan diameter 10^{-3} μm yang berupa materi organik atau anorganik (Mukhtasor, 2007). Sumber utama untuk TDS dalam perairan adalah limbah pertanian, rumah tangga, dan industri. Perubahan kadar TDS dapat menyebabkan perubahan salinitas serta komposisi ion-ion yang akan mengganggu keseimbangan kehidupan organisme akuatik dan bersifat toksik pada tahapan hidup suatu organisme (Weber-Scannel & Duffy, 2007).

e) Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid/TSS*)

TSS adalah materi tersuspensi dalam air yang dapat menyebabkan kekeruhan air. Bahan tersebut terdiri dari lumpur, pasir halus serta jasad-jasad renik yang berasal dari kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003). Tingginya kadar TSS dalam perairan dapat menghambat penetrasi

cahaya matahari ke badan air serta dapat menurunkan ketersediaan oksigen terlarut dalam air (Bilotta & Brazier, 2008).

f) Nutrien

Nutrien atau zat hara merupakan komponen penting bagi produktivitas primer fitoplankton dalam air. Zat hara utama yang diperlukan fitoplankton dan menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan fitoplankton adalah nitrogen terutama nitrat dan fosfor sebagai ortofosfat (Nybakken, 1992).

BAB 2

Pengambilan Sampel

Sampel adalah estimasi atau cuplikan dari satuan sumber yang lebih besar atau sering disebut sebagai populasi. Sampel berisi informasi yang mampu menggambarkan bagaimana kondisi asli dari populasi di mana sampel tersebut diambil (Venrick, 1968). Lebih lanjut, Venrick (1968) menuliskan bahwa dalam riset tentang plankton, dibutuhkan adanya tahapan *sampling design*. *Sampling design* akan mencakup lokasi dan titik pengambilan di mana sampel harus diambil, jenis alat *sampling* yang sebaiknya digunakan, dan berapa volume atau jumlah minimum sampel yang seharusnya dikumpulkan. Semua ini sangat dipengaruhi oleh tujuan dari riset yang akan dilakukan.

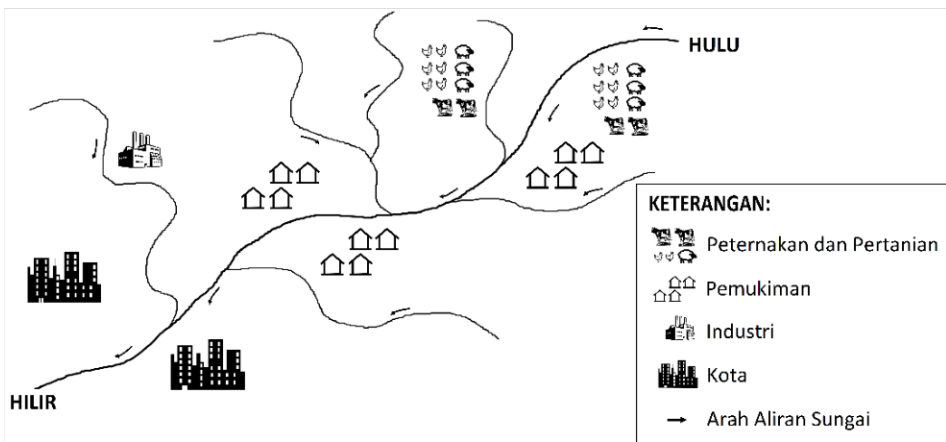
Secara teoritis, semakin besar ukuran sampel yang diambil, data yang terobservasi akan memberikan gambaran yang lebih akurat terhadap informasi sesungguhnya dari populasi. Akan tetapi, jumlah sampel yang terlalu besar akan memakan biaya yang mahal dan menghabiskan waktu analisis yang lama (McBean & Rovers, 1998). *Sampling design* diharapkan mampu meningkatkan jumlah informasi yang dikumpulkan dari lapangan dengan jumlah sampel yang minimum (Venrick, 1968).

2.1 Penentuan Stasiun Pengamatan dan Titik *Sampling*

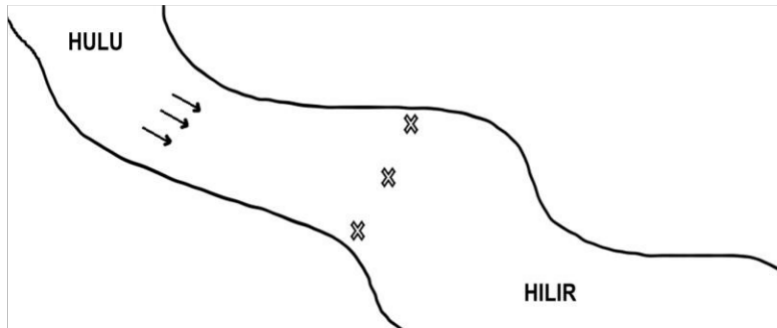
Stasiun merupakan istilah yang umum digunakan untuk menunjukkan area pengambilan sampel. Pada satu stasiun dapat ditentukan satu atau lebih titik pengambilan sampel. Penentuan lokasi stasiun dan jumlah titik pengambilan sampel plankton bergantung pada tujuan pengamatan. Stasiun pengamatan sebaiknya ditentukan sedemikian rupa sehingga sampel yang diperoleh dapat mewakili situasi dan kondisi lokasi pengamatan. Selain itu, faktor logistik, keselamatan, dan data historis dari penelitian sebelumnya dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan stasiun pengamatan. Lebih lanjut, pada setiap stasiun yang representatif harus dilakukan pengambilan sampel paling sedikit sebanyak dua titik, dengan dua sampai empat replikasi (Moore *et al.*, 2006; APHA, 2017).

Pada perairan mengalir, seperti sungai, sampel yang diambil pada sungai utama adalah sampel yang paling representatif dari kondisi umum sungai. Selanjutnya, bagian hulu dan hilir sungai, anak sungai, sumber polusi, dan hal-hal lain yang mungkin dapat memengaruhi kondisi perairan di sepanjang sungai dapat menjadi bahan pertimbangan untuk menentukan stasiun pengamatan (Gambar 2.1). Jika memungkinkan dan tanpa mengabaikan faktor keamanan, titik *sampling* pada setiap stasiun pengamatan ditentukan pada bagian tengah dan kedua sisi sungai dengan pertimbangan adanya pencampuran lateral yang mungkin terjadi (Gambar 2.2).

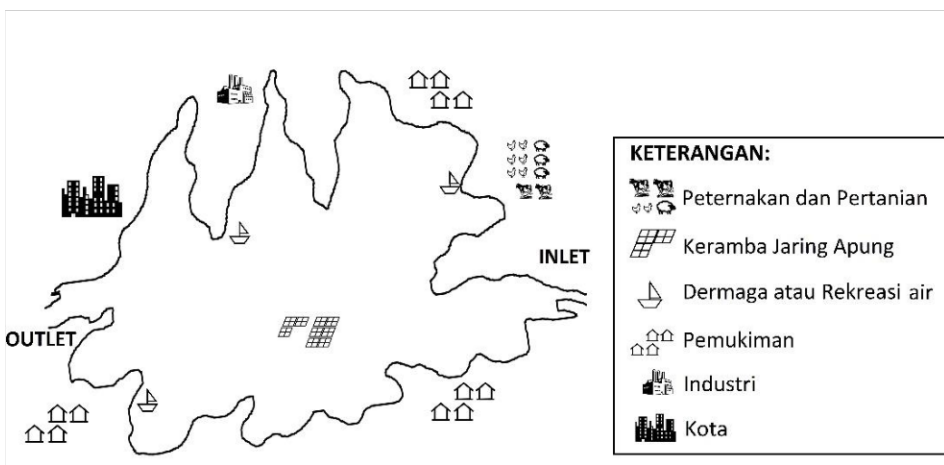
Pada perairan menggenang, seperti danau atau waduk, bagian yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan stasiun pengamatan diantaranya ialah *inlet*, *outlet*, dan area dimana terdapat aktivitas yang dapat menjadi sumber polutan (misalnya keramba jaring apung, dermaga, ataupun rekreasi air) (Gambar 2.3). Disamping itu, pada perairan menggenang, kedalaman dapat memengaruhi populasi plankton sehingga sampel dapat juga diambil berdasarkan kedalaman.



Gambar 2.1 Ilustrasi sungai dengan beberapa aktivitas terkait yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penentuan stasiun pengamatan



Gambar 2.2 Ilustrasi titik sampling pada perairan mengalir (tanda X)



Gambar 2.3 Ilustrasi danau dengan beberapa aktivitas terkait yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penentuan titik *sampling*

2.2 Pemilihan Alat *Sampling*

Pemilihan alat *sampling* plankton merupakan tahapan penting lain dalam tahapan *sampling design*. Jenis alat *sampling* yang digunakan dan jumlah volume sampel yang harus diambil akan sangat dipengaruhi oleh tujuan penelitian.

A. Alat Sampling

Sampel plankton di perairan diambil dengan cara menyaring atau mengambil sejumlah air sesuai dengan volume dan jumlah sampel yang dibutuhkan. Umumnya pengambilan sampel plankton dapat dilakukan dengan menggunakan *water sampler* maupun menggunakan alat penyaring berbentuk kerucut yang ujungnya dilengkapi botol penampung yaitu *plankton net*. Penggunaannya bergantung pada kebutuhan dan kondisi lokasi pengambilan sampel. Dengan demikian, sebelum menentukan alat yang akan digunakan, harus dipastikan lokasi, jenis sampel, dan jumlah sampel yang dibutuhkan.

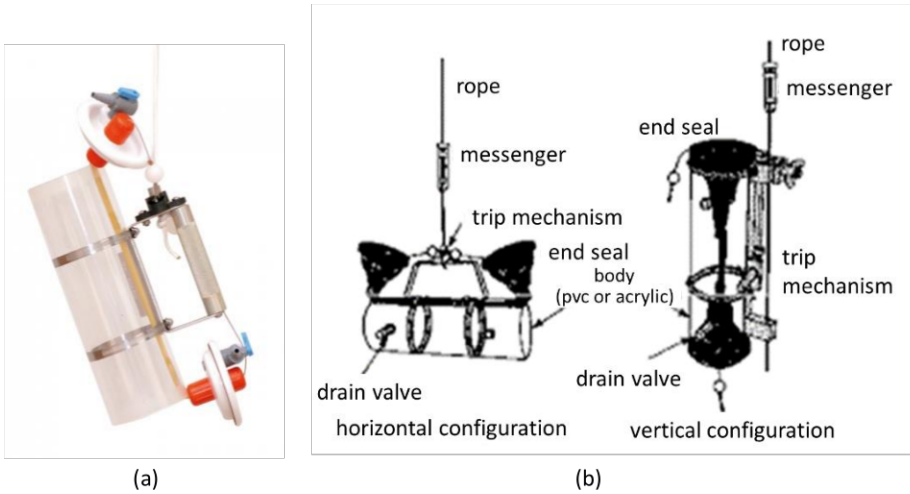
a. Water Sampler

Water sampler digunakan untuk pengambilan sampel air di perairan menggenang dengan kedalaman tertentu seperti danau, sumur, dan laut. *Water sampler* ini dapat mengambil sampel air secara utuh, sehingga dapat diperoleh semua ukuran plankton. Dua jenis *water sampler* yang umumnya dipakai untuk pengambilan sampel air yaitu Van Dorn *water sampler* dan Kemmerer *water sampler*. Van Dorn *water sampler* digunakan untuk pengambilan sampel di berbagai kedalaman dan Kemmerer *water sampler* digunakan untuk sampel air permukaan (Eijkelkamp, 2020; AWRI, 2020).

Van Dorn *water sampler* berbentuk silinder berbahan plastik bening yang dilengkapi dengan termometer pengukur suhu, tali penarik, dan katup otomatis. Tali penarik dapat diturunkan sesuai dengan kedalaman yang diinginkan dan katup dapat tertutup otomatis dengan menjatuhkan *messenger* yang terbuat dari logam. Berbeda dengan Van Dorn *water sampler*, Kemmerer *water sampler* biasanya berbahan logam tapi dapat juga ditemui berbahan dasar akrilik. Kemmerer *water sampler* juga dilengkapi dengan tali penarik dan katup yang dapat tertutup secara otomatis dengan bantuan *messenger* (AWRI, 2020).

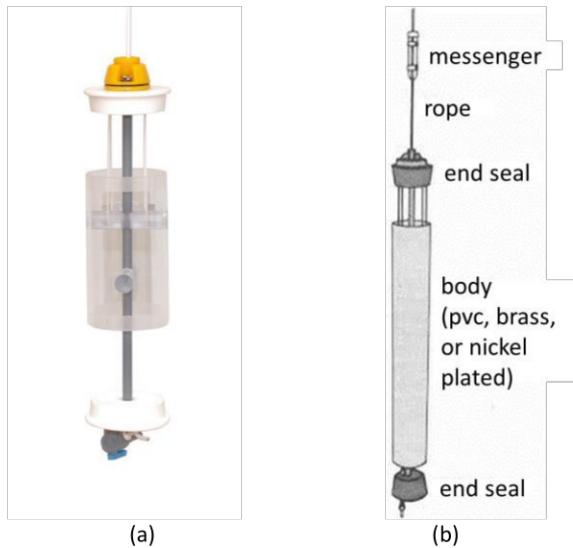
Van Dorn *water sampler* (Gambar 2.4) dapat digunakan untuk mendapatkan sampel air di beberapa kedalaman pada waktu bersamaan. Kemmerer *water sampler* (Gambar 2.5) umumnya digunakan di perairan dangkal dimana hanya diperlukan satu atau dua kedalaman pengambilan sampel. Van Dorn *water sampler* memungkinkan

eksplorasi yang lebih dalam dibandingkan dengan Kemmerer *water sampler* (AWRI, 2020).



Gambar 2.4 Van Dorn Water Sampler

(Sumber: (a) <https://en.eijkelkamp.com/>, (b) <https://atrium.lib.uoguelph.ca/>)

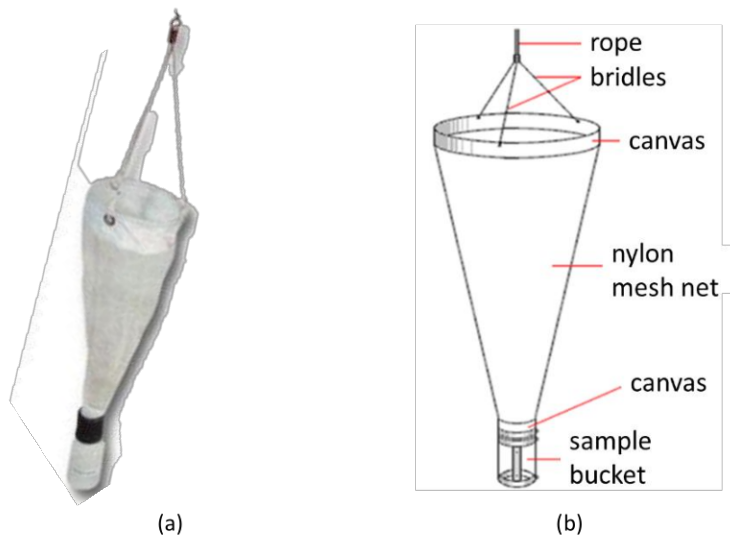


Gambar 2.5 Kemmerer Water Sampler

(Sumber: (a) <https://en.eijkelkamp.com/>, (b) <https://atrium.lib.uoguelph.ca/>)

b. *Plankton net*

Plankton net biasanya berbahan dasar nilon dengan ukuran diameter jala tertentu, bergantung pada ukuran dan jenis plankton yang dibutuhkan untuk analisis. Plankton dalam air yang disaring menggunakan *plankton net* akan terjebak pada jala, kemudian masuk kedalam botol sampel yang terhubung langsung dengan *plankton net*. Sampel plankton yang didapatkan dianalisis sebagai representasi jenis dan jumlah plankton dalam suatu perairan. Secara umum, *plankton net* dan bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Plankton Net*

(Sumber: (a) <https://envcoglobal.com>, (b) <https://site.iugaza.edu.ps>)

Ukuran *plankton net* yang digunakan bergantung pada lokasi pengambilan sampel dan jenis serta ukuran plankton yang diinginkan. Semakin luas suatu perairan, maka semakin besar ukuran *plankton net* yang digunakan. Jumlah sampel yang diperlukan juga dapat memengaruhi pemilihan ukuran *plankton net*. Biasanya ukuran *plankton net* yang digunakan untuk mengambil sampel di laut lebih besar dibandingkan dengan ukuran *plankton net* yang digunakan untuk mengambil sampel di sungai atau danau. Biasanya ukuran *plankton net* yang digunakan untuk mengambil sampel di sungai atau danau

berkisar pada diameter 31-55 cm, rata-rata dengan panjang jala 4-5 kali lipat diameternya. Beberapa contoh ukuran *plankton net* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Berbagai ukuran *plankton net*

(Sumber: (a) <https://envcoglobal.com>, (b) <https://sfrc.ufl.edu>, (c) <https://earthobservatory.nasa.gov>, (d) <https://fisheries.noaa.gov>, (e) <https://jove.com>)

Selain ukurannya yang bervariasi, jenis *plankton net* juga cukup beragam. Ada jenis *plankton net* sederhana yang hanya terdiri dari jaring berbentuk kerucut dengan botol penampung di bagian bawahnya dan ada juga *plankton net* yang dilengkapi dengan pemberat atau *messenger*. Penggunaan *plankton net* tersebut disesuaikan dengan kebutuhan. Berikut ini adalah beberapa jenis *plankton net* yang umum dilakukan dalam pengambilan sampel.

a) Tow Net

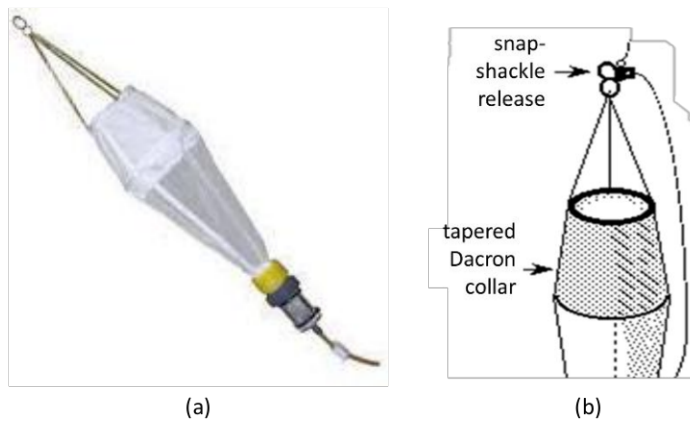
Tow Net pertama kali diperkenalkan pada tahun 1846. *Plankton net* jenis ini dianggap paling fungsional dan serbaguna oleh pengguna *plankton net*. *Tow Net* dapat digunakan secara horizontal maupun vertikal di air tawar atau laut. Biasanya penggunaan *tow net* ditarik dengan kapal. Ukuran yang digunakan menyesuaikan dengan lokasi pengambilan sampel. Ukuran *Tow Net* yang lebih besar biasanya digunakan untuk pengambilan sampel di air laut maupun danau yang luas dan jernih (Envcoglobal, 2020). Diameter *Tow Net* yang digunakan di air tawar berukuran kecil atau sedang, sekitar 5-12 inci dan digunakan secara vertikal. Penggunaan *Tow Net* di laut biasanya membutuhkan diameter yang lebih besar, dengan diameter 20-40 inci dan digunakan secara vertikal maupun horizontal (Envcoglobal, 2020). *Tow Net* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Tow Net*
(Sumber: <http://envcoglobal.com/>)

b) *Wisconsin Net*

Plankton net jenis ini digunakan untuk pengambilan sampel vertikal maupun horizontal di sungai dan danau. *Wisconsin Net* dibedakan dengan jenis *plankton net* lainnya oleh adanya kerah reduksi berbahan dakron yang ditopang oleh dua cincin baja. Kerah reduksi efisiensi tinggi dari jala ini memungkinkan pengangkutan plankton vertikal kuantitatif (Coleparmer, 2009). Selain itu, adanya kerah dakron ini meminimalisir terjadinya *clogging*, sehingga penyaringan lebih maksimal (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 *Wisconsin Net*

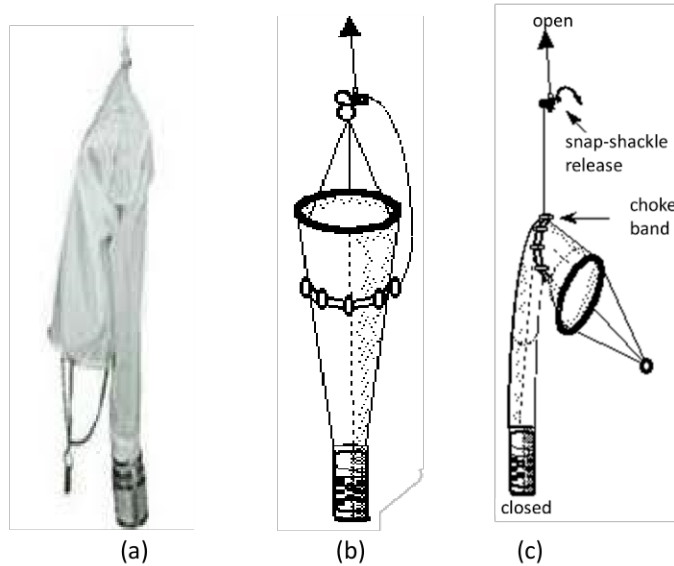
(Sumber: (a) <http://envcoglobal.com>, (b) <https://aquaticresearch.com>)

c) *Birge Closing Net*

Birge Closing Net memiliki jala kerucut yang panjang, dengan penutup di bagian tengah jala yang dapat tertutup otomatis dengan kode dari *messenger*. Jenis *plankton net* ini biasanya digunakan untuk pengambilan sampel vertikal maupun horizontal di dalam zona air tertentu. Penutup pada bagian tengah jala meningkatkan efisiensi filtrasi dan plankton yang tersaring spesifik pada kedalaman yang diinginkan (Envcoglobal, 2020).

Birge Closing Net (Gambar 2.10) ideal digunakan ketika sampel yang diambil berada di lapisan tertentu dalam kolom air yang terintegrasi. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan dan sampel telah tersaring dalam *plankton net*, tutup jala dengan

menjatuhkan *messenger*. Setelah jala tertutup, angkat jala secara vertikal dengan kecepatan 0,5 m/s (Envcoglobal, 2020).

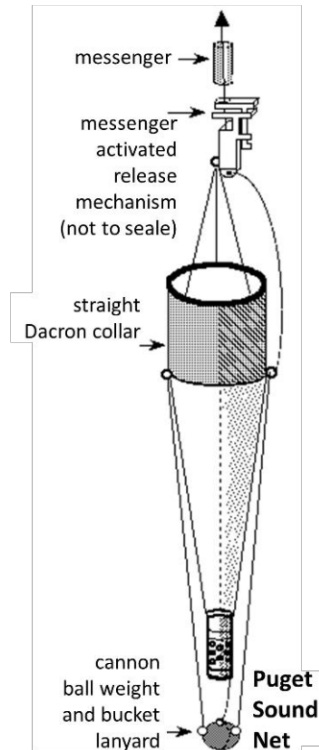


Gambar 2.10 *Birge Closing Net*

(Sumber: (a) Oceanen-tech.com, (b, c) aquaticresearch.com)

d) *Puget Sound Net*

Puget Sound Net merupakan jenis *plankton net* yang dapat dibuka dan ditutup (Gambar 2.11). *Plankton net* ini digunakan untuk pengambilan sampel secara vertikal. Jenis ini dilengkapi dengan kerah dakron dan penutup otomatis yang membuat *Puget Sound Net* efisien digunakan untuk pengambilan sampel. Selain kerah dakron dan penutup otomatis, *Puget Sound Net* juga dilengkapi dengan pemberat, yang membuat jenis ini dapat mengambil sampel pada kedalaman tertentu secara tepat (Bishop, 2014).



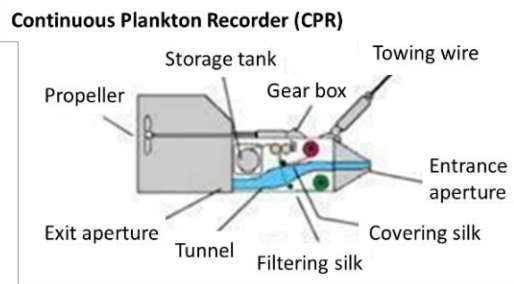
Gambar 2.11 *Puget Sound Net*
 (Sumber: aquaticresearch.com)

e) *Continuous Plankton Recorder (CPR)*

Continuous Plankton Recorder (CPR) adalah instrumen yang dirancang untuk mengambil sampel plankton di wilayah lautan yang luas. Biasanya ditarik dari buritan kapal. CPR memiliki ukuran sekitar satu meter dan berat sekitar 85 kg. CPR ditarik dengan tali kawat berdiameter 10 mm pada kedalaman 5-10 m dengan kecepatan hingga 25 knot. CPR beroperasi dengan menyaring plankton dari air dengan filter yang berupa pita sutra yang dililitkan pada rol yang diputar oleh roda gigi yang ditenagai oleh baling-baling (CPRSurvey, 2020). Alat CPR dapat dilihat pada Gambar 2.12.



(a)



(b)

Gambar 2.12 *Continuous Plankton Recorder*
 (Sumber: (a) Sciencefriday.com, (b) schaechter.asmblog.org)

Catatan:

Beberapa tipe *plankton net* dilengkapi dengan botol sampel yang memiliki filter berbahan nilon dengan ukuran *mesh* tertentu. Filter pada botol sampel berfungsi untuk mereduksi jumlah air, mengoptimalkan jumlah plankton yang diperoleh dengan volume air yang lebih sedikit.

B. Ukuran Jala *Plankton Net* dan Volume Sampel Air yang Disaring

Pemilihan bahan, ukuran jala, dan dimensi dari *plankton net* adalah tahapan penting lain sebelum pengambilan sampel dilakukan. Prinsip kerja dari *plankton net* yang menyaring volume air dalam jumlah tertentu dan menjaring organisme sesuai dengan ukuran jala yang digunakan. Proses penyaringan ini dianggap menjadi salah satu keunggulan dari *plankton net* karena mampu menyaring volume air dalam jumlah besar dan menghasilkan volume sampel terkonsentrat sehingga lebih mudah disimpan dan ditransportasikan dari lapangan ke laboratorium untuk dianalisis.

Namun demikian, proses penyaringan ini juga dianggap sebagai kelemahan *plankton net*, karena komposisi jenis plankton yang tersaring kemungkinan besar akan terdistorsi, terutama jika net yang digunakan kurang tepat. Margalef (1969) menyebutkan hanya sekitar 10% sel plankton yang tertahan pada jala *plankton net* berukuran 40 μm . Net dengan ukuran pori yang lebih kecil tentu akan menangkap jenis yang lebih bervariasi karena dapat menahan plankton dengan ukuran sel yang lebih kecil. Akan tetapi, ukuran net yang terlalu kecil menyebabkan penyumbatan lebih mudah terjadi. Jadi pemilihan ukuran jala *plankton net* adalah faktor penting dan harus disesuaikan dengan tujuan riset yang akan dilakukan. Dalam subbab ini akan dibahas

mengenai jala *plankton net* dan volume air minimum yang harus disaring untuk mendapatkan sampel yang dianggap representatif.

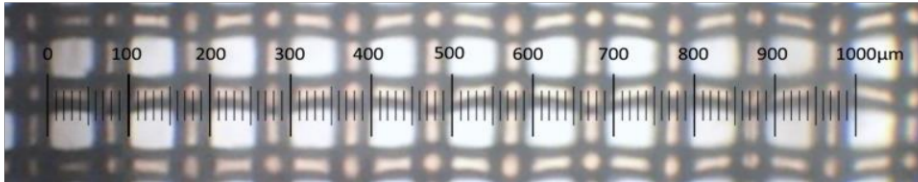
a. Ukuran Jala *Plankton Net*

Pemilihan ukuran jala yang digunakan akan menjadi faktor yang penting untuk melakukan *sampling* plankton dengan menggunakan *plankton net*. Sutra merupakan bahan yang awalnya banyak digunakan untuk *plankton net*, namun penggunaan bahan sutra sudah tidak lagi disarankan karena sifatnya yang mudah berkerut. Saat ini, bahan *nylon monofilament* banyak dipilih karena durabilitasnya yang tinggi dan mudah ditemukan di pasaran. Penomoran dari ukuran *mesh nylon* di Amerika dan negara lain masih menggunakan prinsip penomoran sutra (*silk rating system*). Beberapa ukuran *nylon net* yang digunakan untuk *plankton net* dapat dilihat pada Tabel 2.1 (APHA, 2017).

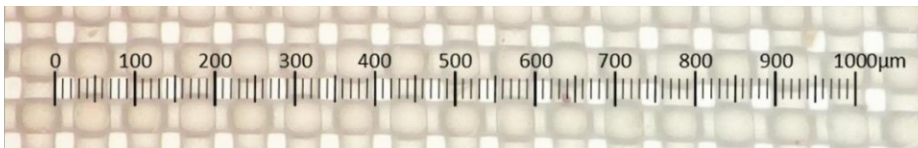
Tabel 2.1 Karakteristik dari *Plankton Net* yang Umum Digunakan (APHA, 2017)

No Sutra	Lebar bukaan (µm)	Area bukaan (%)	Klasifikasi
0	569	50	Zooplankton besar dan ichthyoplankton
2	366	46	Microcrustacea besar
6	239	44	Microcrustacea
10	158	45	Microcrustacea dan kebanyakan Rotifera
20	76	45	Fitoplankton dan zooplankton kecil
25	64	33	Nanoplankton

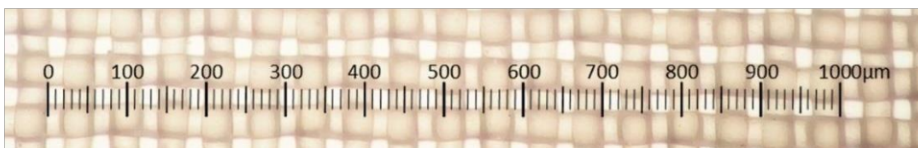
Bahan *nylon monofilament* yang digunakan sebagai jala *plankton net* merupakan bahan yang sama dengan bahan *screen printing* atau bahan cetakan sablon. Penomoran yang lebih besar umumnya menunjukkan jumlah *mesh* yang lebih padat dan lebar bukaan yang lebih kecil. Di Indonesia, sistem penomoran kain *nylon monofilament* bukan merupakan hal yang baku sehingga ada kemungkinan kain yang diproduksi oleh satu perusahaan akan berbeda penomorannya dengan kain yang diproduksi dari produsen lain. Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik beberapa jenis kain *nylon monofilament* di pasaran Indonesia yang dapat digunakan sebagai bahan jala *plankton net*.



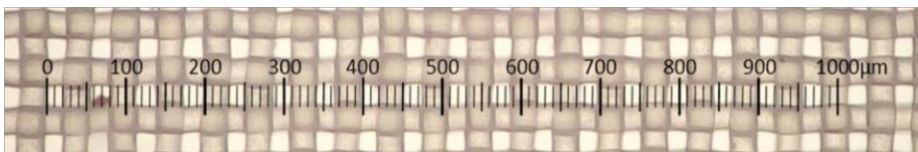
No. Kain: 100;
Lebar bukaan: $\pm 60\mu\text{m}$; lebar benang: $\pm 40\mu\text{m}$; banyak lubang/mm: ± 10



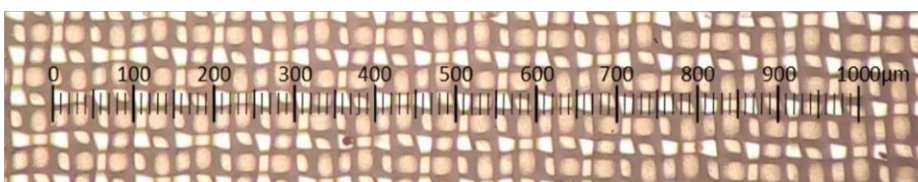
No. Kain: 150;
Lebar bukaan: $\pm 25\mu\text{m}$; lebar benang: $\pm 40\mu\text{m}$; banyak lubang/mm: ± 15



No. Kain: 165;
Lebar bukaan: $\pm 20\mu\text{m}$; lebar benang: $\pm 35\mu\text{m}$; banyak lubang/mm: ± 17



No. Kain: 180;
Lebar bukaan: $\pm 20\mu\text{m}$; lebar benang: $\pm 35\mu\text{m}$; banyak lubang/mm: ± 18



No. Kain: 200;
Lebar bukaan: $\pm 20\mu\text{m}$; lebar benang: $\pm 30\mu\text{m}$; banyak lubang (/mm): ± 20

Gambar 2.13 Kain *nylon monofilament* dengan nomor yang berbeda dilihat di bawah mikroskop dengan perbesaran 100x

Pemilihan ukuran *mesh* akan sangat dipengaruhi oleh organisme plankton yang menjadi target penelitian, Sebagai contoh, jika pengamat hanya perlu mengambil sampel mikrop plankton berukuran lebih 60 μm , jala dengan lebar bukaan 20 μm tidak perlu dipilih. Namun, umumnya sampel populasi plankton membutuhkan cuplikan yang representatif tanpa mengesampingkan nanoplankton yang ukurannya lebih kecil dari 60 μm . Langford (1958) menambahkan bahwa selain *plankton net* yang baik harus memiliki kemampuan untuk mengumpulkan organisme target dan durabilitas yang tinggi, efisiensi filtrasi juga akan menjadi bahan pertimbangan yang penting, terutama jika pengambilan sampel dilakukan dengan metode *towing* (tarikan) karena akan menjadi bahan pertimbangan untuk kecepatan tarikan saat pengambilan sampel.

Smith *et al.* (1968) menuliskan bahwa efisiensi filtrasi akan berubah karena terjadi penyumbatan pada *plankton net* saat dilakukan pengambilan sampel dengan metode *towing*. *Plankton net* dengan ukuran *mesh* yang lebih kecil dan area mulut yang lebih besar akan lebih cepat tersumbat. Jika net dengan ukuran *mesh* kecil dipilih untuk melakukan pengambilan sampel, sebaiknya *plankton net* dirancang dengan ukuran yang lebih panjang. Penambahan panjang *plankton net* ini akan menambah luas area total jala yang menyaring air, dengan demikian efisiensi filtrasi akan bertambah. Solusi lain adalah dengan menambahkan kain non-porous berbentuk kerucut pada bagian mulut *plankton net* untuk menurunkan luas area bukaan mulut. Selain itu, perlu diingat bahwa laju penyumbatan *plankton net* juga akan sangat dipengaruhi oleh kondisi perairan dimana *plankton net* tersebut digunakan, misalnya ketika banyak pasir, lumpur atau sampah organik/anorganik yang tersuspensi pada perairan tersebut.

Contoh kasus adalah pengambilan sampel plankton pada perairan yang bersifat oligotrofik dan eutrofik di area Jawa Barat. *Plankton net* yang dipilih adalah *conical plankton net* dengan dimensi bukaan berukuran 20 atau 25 cm dan panjang 40 atau 60 cm. Ukuran ini dipilih karena lebih memudahkan proses pengambilan sampel di lapangan. Jala yang dibandingkan adalah jala dengan nomor kain 100 dan 200, dengan spesifikasi seperti tercantum pada Gambar 2.13.

Untuk melihat nomor kain yang mana yang dianggap lebih efektif dalam menangkap plankton, keanekaragaman suku akan digunakan sebagai indikator. Keanekaragaman suku dipilih sebagai indikator, karena marga plankton dari suku yang

sama cenderung memiliki ukuran yang hampir serupa. Sebagai contoh plankton dari marga *Fragilaria* dan *Synedra* yang berasal suku Fragilariaceae memiliki ukuran panjang yang sama yaitu antara 40–50 µm. Contoh lain adalah marga *Trachelomonas* dan *Phacus* yang berasal dari suku *Euglenophyceae* keduanya memiliki variasi ukuran antara 90–200 µm. Penggunaan suku sebagai indikator, diharapkan mampu memberikan gambaran secara lebih umum, bagaimana ukuran *mesh* plankton dapat akan memengaruhi variasi ukuran plankton yang tertangkap.

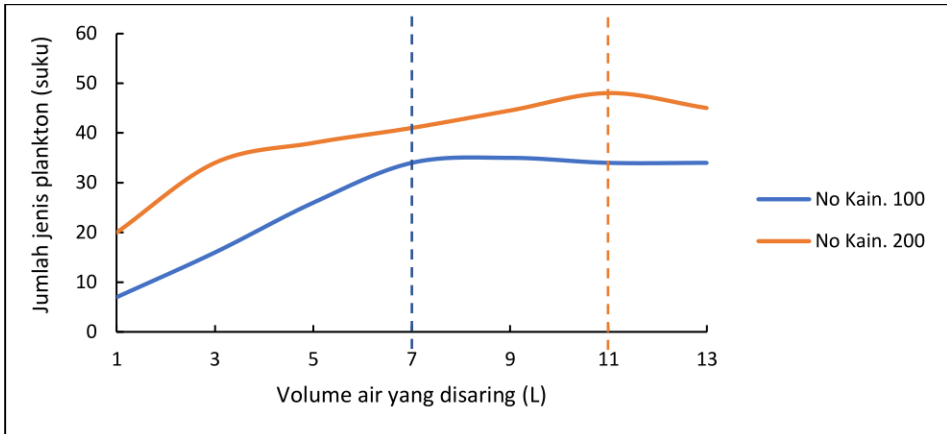
Pengambilan sampel plankton dengan menggunakan kain no. 200, mampu menjaring rata-rata 34 suku plankton, sementara kain no. 100 menjaring 31 suku. Hasil penghitungan statistik dengan menggunakan uji *t-test* berpasangan pada tingkat kepercayaan 95% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, *plankton net* yang dibuat dari kain no. 200 memberikan hasil terbaik untuk pengambilan sampel plankton karena mampu mencuplik suku yang lebih bervariasi dibandingkan dengan kain no. 100 sehingga diharapkan lebih mampu menggambarkan populasi plankton yang ingin diamati di lokasi penelitian.

b. Volume Sampel Air yang Disaring

Jumlah air yang harus disaring untuk mendapatkan sampel yang representatif tentu sangat dipengaruhi oleh kepadatan populasi plankton di lapangan. APHA (2017) menuliskan bahwa volume 0,5-1 L adalah volume minimal yang cukup untuk sampel yang diambil dari badan perairan yang eutrofik atau sedang mengalami *blooming algae*. Pada badan perairan dengan densitas plankton yang diasumsikan rendah seperti perairan oligotrofik, sampel yang diambil sebaiknya lebih dari 1 L. APHA (2017) sebenarnya lebih menyarankan penggunaan *plankton net* untuk mengumpulkan sampel zooplankton karena ukurannya yang lebih besar dan lebih mudah dijaring oleh *plankton net*.

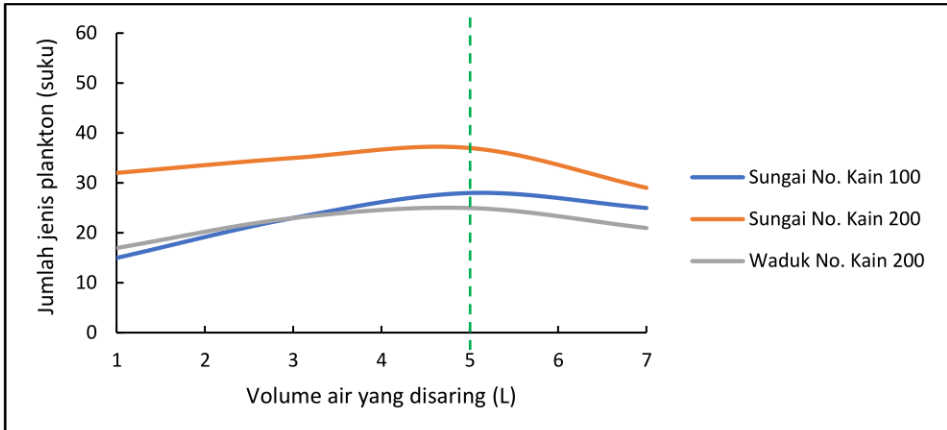
Pada perairan yang cenderung oligotrofik, jumlah minimal sampel air yang disaring ialah 7 L ketika menggunakan *plankton net* dengan jala no. 100 dan 11 L dengan jala no. 200. Secara umum, jumlah total plankton yang terjaring oleh *plankton net* dengan jala no. 200 lebih tinggi dibandingkan dengan jala no. 100. Hal ini disebabkan terjaringnya plankton dengan ukuran yang lebih kecil. Kecenderungan jumlah suku plankton yang

diperoleh pada setiap volume air yang disaring di perairan oligotrofik dapat dilihat di Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Profil jumlah suku dari plankton yang terjaring pada perairan oligotrofik (sungai) dengan ukuran jala plankton (nomor kain) yang berbeda. Volume 7 dan 11 L menunjukkan volume optimum masing-masing dari *plankton net* no kain 100 dan 200 untuk memperoleh variasi suku plankton paling tinggi

Pada perairan yang cenderung eutrofik, baik pada perairan mengalir (sungai) maupun menggenang (danau) sebaiknya jumlah sampel air yang disaring minimal sebanyak 5 L. Volume minimal sampel air tersebut tidak berbeda nyata baik ketika menggunakan *plankton net* dengan ukuran jala no. 100 maupun no. 200. Kecenderungan jumlah suku yang diperoleh pada setiap volume air yang disaring di perairan eutrofik dapat dilihat di Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Profil jumlah suku dari plankton yang terjaring pada perairan eutrofik (sungai dan waduk) dengan ukuran jala plankton (nomor kain) yang berbeda. Volume 5 L menunjukkan volume optimum untuk memperoleh variasi suku plankton paling tinggi

2.3 Pelabelan Botol Sampel dan Buku Catatan

Sebelum pengambilan sampel dilakukan, botol sampel telah disiapkan dan diberi label. Botol sampel yang digunakan dapat berbahan plastik atau kaca baik berwarna terang maupun gelap dengan volume kurang lebih 50-100 mL (Gambar 2.16). Botol berwarna gelap khususnya digunakan untuk sampel fitoplankton untuk mempertahankan warna fitoplankton selama pengawetan. Selanjutnya, pemberian label pada botol sampel dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) diberi label dengan informasi yang memadai untuk menghindari kebingungan atau kesalahan, (2) diberi kode tertentu atau no sampel saja sementara informasi detail yang berhubungan dengan sampel tersebut dapat dilihat pada Buku Catatan Lapangan.

Pada label terdapat informasi berupa tanggal, nomor sampel, stasiun pengambilan sampel, wilayah studi (sungai, danau, waduk), jenis sampel (fitoplankton, zooplankton), kedalaman dan nama petugas pengambil sampel. Label dan tinta yang digunakan sebaiknya bersifat tahan air. Contoh label yang akan ditempel pada botol sampel dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Contoh botol sampel plankton

Tanggal	:	
No sampel	:	
Stasiun	:	
Wilayah studi	:	
Jenis sampel	:	
Kedalaman	:	
Nama petugas	:	

Gambar 2.17 Contoh label yang ditempel pada botol sampel

Informasi penting lainnya terkait dengan lokasi pengambilan sampel dan hasil pengamatan lapangan terhadap beberapa parameter fisik dan kimiawi air dapat dicatat pada buku catatan lapangan. Informasi tersebut meliputi stasiun (lokasi pengambilan sampel), kedalaman, jenis sampel, waktu, kondisi meteorologi (panas, mendung, hujan), kekeruhan, suhu air, pH air, DO, kecepatan arus, dan pengamatan penting lainnya yang dapat diisikan dalam bentuk tabel. Contoh tabel pada Buku Catatan Lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.2. Jumlah ulangan pada setiap pengukuran disesuaikan dengan desain statistik penelitian dan analisis statistik yang dipilih untuk interpretasi data. Data lapangan tersebut sangat berharga ketika hasil analisis sampel plankton akan diinterpretasikan dan sering membantu menjelaskan apabila terdapat suatu perubahan yang tidak biasa yang dapat disebabkan oleh variabel karakter lingkungan akuatik. Gambar 2.18 menunjukkan beberapa kegiatan pengukuran parameter fisik dan kimiawi lingkungan perairan di lapangan.

Tabel 2.2 Contoh Tabel Pencatatan Pengamatan Parameter Fisik dan Kimiawi Perairan pada Buku Catatan Lapangan

Tanggal	:				
No sampel	:				
Stasiun	:				
Wilayah studi	:				
Jenis sampel	:				
Kondisi meteorologi	:				
Nama petugas	:				
No.	Parameter	Ulangan			Rata-rata
		I	II	III	
1	Intensitas cahaya (lux)				
2	Kedalaman (m)				
3	Kecerahan (m)				
4	Suhu air (°C)				
5	Suhu udara (°C)				
6	Kecepatan arus (m/detik)				
7	Debit air (m/detik ²)				
8	pH air				
9	DHL (μs)				
10	TDS (mg/L)				
11	Salinitas (%)				
12	DO (mg/L)				
13	CO ₂ (mg/L)				
14	HCO ₃ ⁻ (mg/L)				

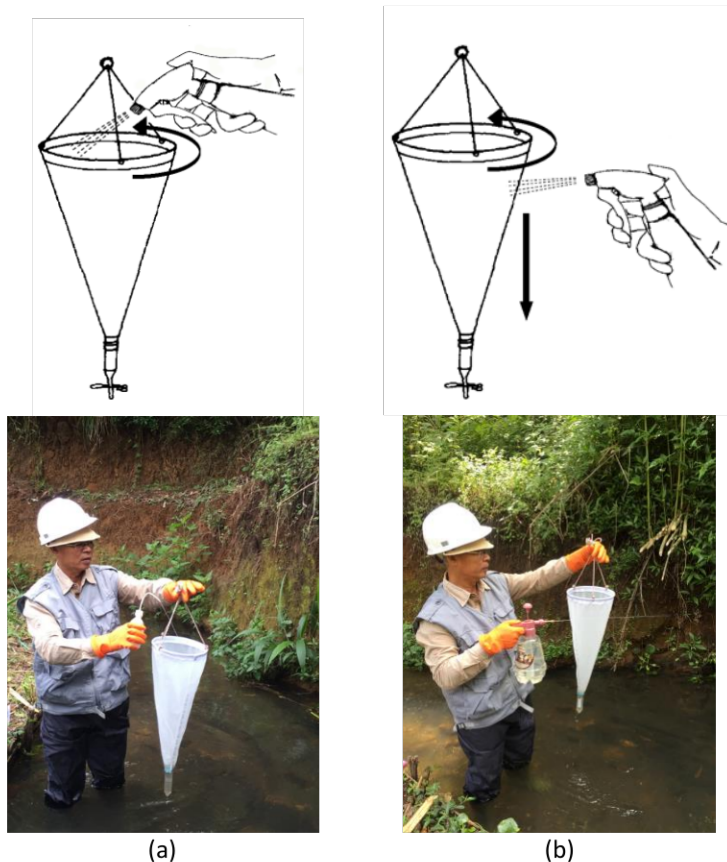


Gambar 2.18 Kegiatan pengukuran parameter fisik dan kimiawi lingkungan perairan di lapangan

2.4 Teknik Pembilasan *Plankton Net*

Plankton net memerlukan perawatan yang baik dan sesuai sehingga menjadi awet dan memiliki umur yang panjang. *Plankton net* perlu dibilas secara seksama dengan air bersih setelah setiap penggunaan dan dipastikan tidak terdapat partikulat yang mengering pada jala karena dapat secara signifikan mengurangi ukuran bukaan mata jala dan meningkatkan frekuensi penyumbatan (APHA, 2017). Pada saat akan digunakan untuk pengambilan sampel plankton, terlebih dahulu dipastikan bahwa *plankton net* yang akan digunakan dalam keadaan bersih dan bebas dari plankton yang menempel pada jala yang berasal dari proses pengambilan sampel plankton sebelumnya. Hal ini dimaksudkan agar tidak ada plankton yang bukan berasal dari lokasi pengambilan sampel yang sedang dilakukan sehingga didapatkan hasil yang representatif dan akurat.

Pembilasan jala plankton dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) dari sisi *plankton net* sebelah dalam, (2) dari bagian luar *plankton net* (Gambar 2.19). Air yang digunakan untuk membilas sebaiknya menggunakan air bebas plankton untuk menghindari adanya kontaminasi atau penambahan plankton, baik jenis maupun jumlah, di luar kegiatan pengambilan sampel. Cara lain untuk membilas jala plankton ialah dengan mencelupkan *plankton net* secara vertikal dan berulang ke dalam air tanpa melewati batas mulut jala. Cara ini lebih praktis, namun memiliki resiko masuknya plankton dengan ukuran yang lebih kecil dari bukaan jala sehingga dapat mengkontaminasi sampel plankton.



Gambar 2.19 Pembilasan *plankton net* dengan menggunakan *sprayer* dari (a) sisi bagian dalam *plankton net*, dan (b) bagian luar *plankton net*

2.5 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel plankton tidak ada yang bersifat universal dan cocok untuk segala jenis plankton. Teknik pengambilan sampel harus dipilih dan disesuaikan dengan objektif dari pengamatan. Perlu diperhatikan bahwa studi dan survei pendahuluan sangat membantu dalam menentukan metode pengambilan sampel dan menyediakan *basic* data komposisi, densitas, biomassa serta variabilitas jenis plankton.

Sampel biasanya disebut sebagai sampel “permukaan” atau “kedalaman” (sub-permukaan). Sampel kedalaman diambil pada kedalaman tertentu sedangkan sampel permukaan diambil sedekat mungkin dengan permukaan air. Data dari sampel yang berbeda dapat selalu dikompositkan, namun data dari komposit tidak dapat diekstrapolasi menjadi sampel yang berbeda (APHA, 2017). Hal yang perlu diingat ketika merencanakan pengambilan sampel adalah konsistensi perlakuan dalam pengambilan sampel pada setiap lokasi dan stasiun pengamatan serta pada saat analisis.

Teknik pengambilan sampel plankton dapat dipilih berdasarkan pertimbangan beberapa hal, salah satunya adanya perbedaan kondisi fisik alami air seperti perbedaan yang terjadi pada perairan mengalir (sungai), perairan menggenang (danau), dan laut.

a. Perairan Mengalir

Perairan mengalir seperti sungai biasanya tercampur secara vertikal sehingga pengambilan sampel sub-permukaan, pada bagian atas maupun komposit antara dua atau lebih strata, cukup untuk koleksi sampel yang representatif. Pada sungai yang bercampur secara vertikal dan horizontal, pengambilan sampel dilakukan pada bagian tengah badan air (0,5 sampai 1 m di bawah permukaan air) secara periodik. Pada perairan mengalir, teknik pengambilan sampel juga bergantung dengan kecepatan arus. Pada perairan dengan kecepatan arus lambat hingga sedang sampel dapat diambil menggunakan pompa selang ataupun *plankton net*. Sementara pada perairan dengan turbulen, air permukaan diambil dengan ember dan disaring dengan *plankton net* yang sesuai (APHA, 2017).

Gambar 2.20 menunjukkan kegiatan pengambilan sampel plankton di perairan mengalir yang dangkal. Plankton dapat diambil menggunakan gayung yang telah diketahui volumenya lalu air yang telah diambil disaring dengan menggunakan

plankton net. Penyaringan air dengan *plankton net* dilakukan dengan cara air diguyurkan mengelilingi jala secara perlahan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan pada morfologi plankton yang terjaring akibat adanya gesekan oleh air. Kerusakan morfologi, terutama pada sampel zooplankton, dapat menghambat proses identifikasi pada tahapan selanjutnya.



Gambar 2.20 Kegiatan pengambilan, pembilasan, dan pemindahan sampel plankton di perairan mengalir yang dangkal

Setelah pengambilan sampel selesai dilakukan sesuai dengan volume yang telah ditentukan, kemudian jala *plankton net* dibilas dengan air bebas plankton untuk memasukkan sampel plankton yang terjala ke dalam botol penampung. Selanjutnya, sampel plankton yang tertampung pada botol penampung dihomogenkan lalu dibagi dua dengan jumlah volume yang sama dan masing-masing dimasukkan ke dalam dua buah botol sampel yang berbeda. Masing-masing botol sampel tersebut diberi label untuk sampel fitoplankton dan zooplankton. Botol sampel selanjutnya diberi larutan pengawet yang sesuai untuk dibawa dan diperiksa di laboratorium.

b. Perairan Menggenang

Pada perairan menggenang seperti danau atau waduk, dimana populasi plankton dapat bervariasi dengan kedalaman, sampel diambil dari seluruh zona representatif kedalaman atau massa air, berfokus pada zona eufotik untuk fitoplankton dan kolom perairan untuk zooplankton. Kedalaman pengambilan sampel ditentukan berdasarkan kedalaman air pada stasiun penelitian, kedalaman termoklin atau isohalin, serta faktor lain. Pada area dangkal (kedalaman 2-3 m) sampel sub-permukaan diambil pada kedalaman 0,5 hingga 1 meter. Pada area yang lebih dalam, sampel diambil pada interval kedalaman reguler (APHA, 2017). Pengambilan sampel plankton di perairan menggenang dapat menggunakan *Wisconsin plankton net*, *water sampler*, atau pompa selang. Untuk penggunaan *Wisconsin plankton net*, alat ini diturunkan dengan posisi tegak dari sisi kapal hingga 0,7-1 meter di atas dasar danau dan ditarik secara perlahan dengan kecepatan konstan 0,3 m/s (APHA, 2017; Ohio EPA, 2012).

Lebih lanjut, pada ekosistem laut, kualitas dan kuantitas sampel plankton yang didapatkan ditentukan oleh ukuran mata jala, tipe, panjang dan area mulut jala, kecepatan kapal penarik, waktu pengambilan sampel dan tipe tarikan. Plankton dapat diambil dengan beberapa teknik atau tipe tarikan bergantung pada objektif studi. Tipe tarikan tersebut di antaranya (Marsden, 1991; Goswami, 2004; APHA, 2017; Varghese *et al.*, 2015):

a) Tarikan Mendatar (Horizontal)

Kebanyakan digunakan untuk mendapatkan informasi distribusi plankton pada bagian permukaan atau sub-permukaan (hanya satu lapisan air). Pada tarikan ini, jala ditenggelamkan dan ditarik dengan kapal pada kecepatan perlahan (1 sampai 2 knot) dengan waktu yang diinginkan (biasanya 5-10 menit) (Gambar 2.21(a)). Ketika kecepatan penarikan ditambahkan, akan terbentuk gulungan air statis yang akan mengalihkan air keluar jala dan secara konsekuen mengurangi efektivitas penyaringan serta dapat merusak jala. Untuk mendapatkan koleksi zooplankton yang lebih kualitatif dan kuantitatif, waktu yang paling cocok untuk tarikan horizontal adalah sebelum fajar, setelah matahari tenggelam atau malam hari. Hal ini dikarenakan adanya migrasi vertikal zooplankton sebagai respon terhadap kondisi cahaya. Keberadaan zooplankton di bagian permukaan akan lebih sedikit selama siang hari.

b) Tarikan Menegak (Vertikal)

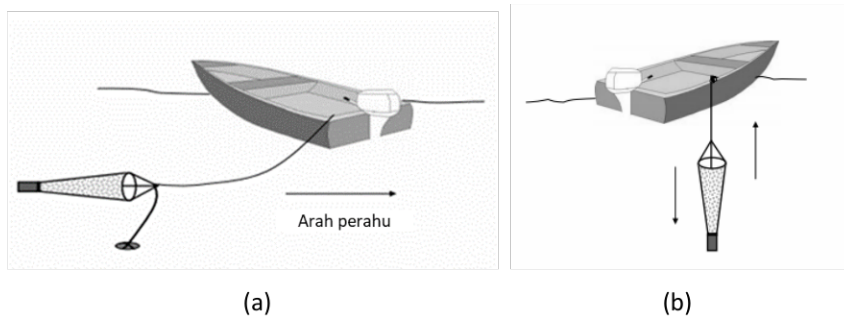
Digunakan untuk mengambil sampel plankton pada seluruh kolom air atau beberapa kedalaman (komposit) maupun pada satu kedalaman tertentu. Pada tarikan ini, kapal dihentikan dan jala diturunkan pada kedalaman yang diinginkan dengan pemberat dengan ukuran 3-5 kg diikat di bawahnya. Setelah itu, jala ditarik secara perlahan ke atas dengan kecepatan konstan 0,5 m/s (Gambar 2.21(b)). Mekanisme penutupan digunakan untuk mendapatkan sampel plankton pada kedalaman tertentu. Hal ini dilakukan dengan menjatuhkan pemberat untuk menutup jala saat berada pada kedalaman yang diinginkan. Volume sampel air yang diambil dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Volume\ sampel = (panjang\ tali\ penarik) \times \pi \times (radius\ bukaan\ jala)^2$$

c) Tarikan Miring (*Oblique*)

Digunakan untuk mengambil sampel plankton pada kolom air (komposit) di perairan dangkal. Pada tarikan ini jala diturunkan pada kedalaman yang ditentukan (0,5 m dari dasar) dan ditarik ke atas dengan kecepatan konstan pada

saat kapal bergerak maju (2 knot). Pada tarikan ini, sampel tidak perlu diambil dengan sudut yang sama dari dasar hingga ke permukaan. Pada kondisi terbaik akan terbentuk pola *sigmoid* akibat akselerasi kapal dan kendur di garis tarikan. Beberapa masalah dapat terjadi saat dilakukannya tarikan miring, seperti jala tersangkut di dasar perairan, sedimen yang masuk dapat menyumbat jala, dan kesulitan dalam memperkirakan volume sampel air yang diambil.



Gambar 2.21 Ilustrasi (a) Tarikan Horizontal dan (b) Tarikan Vertikal (Macneill *et al.*, 2001)

Selain pertimbangan kondisi fisik air, salah satu hal yang penting dalam pertimbangan pengambilan sampel plankton adalah perbedaan teknik pengambilan sampel yang dibutuhkan untuk fitoplankton dan zooplankton. Hal ini penting mengingat perbedaan ukuran serta karakteristik yang dimiliki oleh kedua kelompok organisme tersebut. Berikut merupakan teknik pengambilan sampel fitoplankton dan zooplankton (APHA, 2017):

- **Fitoplankton**

Untuk evaluasi kualitatif dan kuantitatif, ambil keseluruhan sampel air (tidak terfilter dan tidak tertahan) dengan botol koleksi yang terdiri dari botol silinder dengan *stopper* pada tiap ujung dan alat penutup. Turunkan *sampler* pada kedalaman yang diinginkan kemudian mulai mekanisme penutupan. Jika memungkinkan ambil sampel komposit dari beberapa kedalaman atau beberapa sampel repetitif pada satu kedalaman. Alat yang paling umum digunakan dengan

prinsip ini adalah Niskin/Nansen dan Van Dorn. Alat ini mengambil seluruh ukuran fitoplankton yang dapat dipisahkan dengan penyaringan menggunakan berbagai ukuran *mesh*. Van Dorn biasa dipilih untuk produktivitas primer dan determinasi kuantitatif lain karena tidak menghalangi air sehingga bebas mengalir ke dalam silinder. Kapasitas tabung Van Dorn adalah 0,5 L.

Pada perairan dangkal, gunakan *sampler* permukaan lumpur Jenkins, botol *sampler* yang dimodifikasi supaya dapat digenggam horizontal, atau *sampler* bakteriologis yang sesuai. Untuk efisiensi waktu pengambilan sampel yang lebih besar dan secara akurat terukur kuantitasnya, gunakan pompa. Penggunaan net sebenarnya kurang sesuai untuk hampir seluruh pengambilan sampel fitoplankton kuantitatif. Secara teori, net menangkap alga yang lebih besar dari ukuran *mesh*, dan alga yang berukuran lebih kecil melewati net, jadi nanoplankton (>2-20 μm) dan pikoplankton (0,2-2 μm) mungkin terlewat seluruhnya. Namun net tetap menjadi alat pengambilan sampel kualitatif yang sangat baik, terutama dalam aplikasi pengajaran.

- Zooplankton

Pemilihan alat pengambilan sampel bergantung pada tipe dan distribusi ukuran zooplankton, jenis objektif pengamatan (distribusi, produktivitas, atau lainnya) serta badan perairan yang diamati. Untuk mengambil sampel mikrozooplankton (20-200 μm) seperti protozoa, rotifera, dan mikro crustacea imatur, gunakan botol *sampler* seperti pada fitoplankton. Zooplankton kecil biasanya cukup melimpah dan cukup diambil dengan botol 5 L sampai 10 L. Sampel komposit dari berbagai kedalaman lebih direkomendasikan. Mikrozooplankton yang lebih besar (Crustacea) dapat dikonsentrasikan dengan melewatkan keseluruhan air melalui *net* dengan ukuran *mesh* 20 μm (APHA, 2017).

Botol *sampler* biasanya tidak sesuai untuk mengambil sampel zooplankton yang lebih besar (*mature microcrustacea*) karena lebih jumlahnya sedikit dan memiliki kemampuan yang cukup untuk menghindari tertangkap sehingga dibutuhkan *trap* atau *net* lebih besar. *Plankton net* lebih dipilih daripada botol

sampler dan *trap* ketika plankton sedikit, terdistribusi secara vertikal, atau hanya data kualitatif atau biomassa yang besar yang dibutuhkan untuk analisis.

Catatan:

Walaupun sering dinilai kurang akurat dalam pengambilan sampel plankton kuantitatif, *plankton net* merupakan alat yang paling umum digunakan untuk pengambilan sampel plankton pada air permukaan di perairan tawar dan laut. Kurangnya keakuratan *plankton net* ini dapat diatasi dengan menyesuaikan penggunaan *plankton net* sesuai dengan tujuan pengamatan. Jika tujuan pengambilan sampel plankton dengan ukuran tertentu maka ukuran *plankton net* yang digunakan harus disesuaikan dengan tujuan, tetapi jika tujuan pengambilan sampel plankton untuk melihat kelimpahan plankton yang berhubungan dengan rantai makanan maka digunakan *plankton net* dengan ukuran yang kecil sehingga diharapkan semua ukuran plankton dapat terambil.

2.6 Teknik Pengawetan Sampel

Pengawetan sampel plankton dilakukan untuk mempertahankan keadaan sampel sedemikian rupa sehingga sama dengan keadaan ketika di lapangan. Pada dasarnya, metode pengawetan sampel dapat dilakukan baik secara fisik, kimiawi, maupun fisik dan kimiawi. Metode pengawetan secara fisik umumnya dilakukan untuk memeriksa sampel hidup yaitu dengan menyimpannya pada suhu rendah ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) dalam keadaan gelap dengan botol yang terisi sebagian. Tujuannya ialah untuk menghambat pertumbuhan plankton untuk sementara, namun sampel harus sesegera mungkin diperiksa.

Jika tidak memungkinkan untuk memeriksa plankton hidup atau jika plankton akan dihitung di kemudian hari, sampel dapat diberi pengawet terlebih dahulu sebelum disimpan. Untuk sampel yang akan diawetkan, botol sampel diisi sampai penuh. Pemberian bahan pengawet terhadap sampel terdapat dua cara yaitu: (1) bahan pengawet ditambahkan ke dalam botol sampel sebelum dilakukan pengambilan sampel, (2) bahan pengawet diberikan kemudian, setelah dilakukan pengambilan sampel.

Pemberian pengawet pada sampel plankton sebaiknya memerhatikan jenis sampel dan bahan pengawet yang sesuai agar tidak menghambat proses pemeriksaan (identifikasi) plankton selanjutnya. Secara morfologis, fitoplankton dan zooplankton memiliki struktur yang berbeda dimana fitoplankton memiliki dinding sel yang dapat menjaga bentuk sel, namun pada bagian dalam terkandung pigmen dengan warna yang

bervariasi yang dapat digunakan sebagai ciri khas suatu jenis fitoplankton dalam proses identifikasi sehingga sedapat mungkin warna asli pigmen tidak berubah karena pengawetan. Sementara, zooplankton (kecuali kelompok Arthropoda dari filum Crustacea yang memiliki karapas atau cangkang) umumnya hanya dilingkupi membran sel sehingga sel menjadi mudah rusak akibat adanya lisis atau krenasi dan dapat menyulitkan proses identifikasi.

Pada dasarnya, setiap bahan pengawet memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing ketika digunakan untuk mengawetkan plankton dikarenakan plankton memiliki ukuran, struktur, dan peran dengan tingkat variasi yang sangat tinggi. Menurut APHA (2017), pengawet yang paling sesuai untuk fitoplankton adalah larutan Lugol, yang dapat digunakan untuk hampir semua bentuk fitoplankton termasuk kelompok Flagellata. Namun, larutan asam Lugol dapat melarutkan Coccoliths dari Coccolithophores yang umum terdapat di perairan muara dan laut. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan modifikasi terhadap larutan Lugol sehingga larutan bersifat netral atau sedikit basa dan memungkinkan untuk mengawetkan Coccolithophores, namun menjadi kurang efektif untuk kelompok Flagellata. Pada umumnya, bahan pengawet dapat mendistorsi dan mengganggu sel-sel tertentu, terutama yang berbentuk halus seperti *Euglena*, *Cryptomonas*, *Synura*, *Chromulina*, dan *Mallomonas*.

Berdasarkan APHA (2017), bahan pengawet yang umum digunakan untuk plankton diantaranya ialah:

1. Fitoplankton.

- a. Larutan Lugol:

- Cara membuat larutan Lugol adalah dengan melarutkan 20 g kalium iodida (KI) dan 10 g kristal yodium ke dalam 200 mL akuades yang mengandung 20 mL asam asetat glasial. Larutan yang dihasilkan bersifat asam. Modifikasi larutan Lugol yang menghasilkan larutan netral atau sedikit basa dilakukan dengan melarutkan 10 g KI dan 5 g kristal yodium ke dalam 20 mL akuades,

kemudian ditambahkan 50 mL akuades yang mengandung 5 g natrium asetat anhidrat.

- Untuk mengawetkan sampel dengan larutan Lugol, tambahkan 0,3 mL larutan Lugol ke 100 mL sampel dan simpan di tempat gelap.
- Untuk penyimpanan jangka panjang, tambahkan 0,7 mL larutan Lugol per 100 mL sampel dan diberi buffer formaldehida sebanyak minimal 2,5% dari konsentrasi akhir, setelah 1 jam.

b. Formalin:

- Cara membuat larutan formalin adalah dengan melarutkan 20 g natrium borat ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4$) ke dalam 1 L formaldehid 37%.
- Untuk mengawetkan sampel dengan formalin, tambahkan 40 mL larutan formalin ke dalam 1 L sampel segera setelah pengambilan sampel.
- Untuk mengawetkan sampel dari muara dan laut, pH disesuaikan hingga mencapai 7,5 dengan natrium borat, khususnya untuk sampel yang mengandung Coccolithophores.

c. Alkohol 95%:

- Alkohol dapat digunakan langsung atau dalam campuran pengawet dengan perbandingan 6-3-1 (6 bagian air; 3 bagian alkohol 95%; dan 1 bagian formalin).
- Untuk mengawetkan sampel dengan alkohol, tambahkan alkohol 95% ke dalam sampel hingga konsentrasi akhir 70%.
- Untuk mengawetkan sampel dengan campuran pengawet, tambahkan campuran tersebut ke dalam sampel dengan volume yang sama.

d. Larutan mertiolat:

- Cara membuat larutan mertiolat ialah dengan melarutkan 1 g mertiolat, 1,5 g natrium borat, dan 1 mL larutan Lugol ke dalam 1 L akuades.
- Untuk mengawetkan sampel dengan merthiolat, tambahkan 36 mL larutan merthiolat ke dalam 1 L sampel dan simpan di tempat

gelap. Sampel yang diawetkan dengan merthiolat tidak steril, tetapi dapat disimpan secara efektif selama 1 tahun, setelah itu formalin perlu ditambahkan.

e. Fiksatif 'M3':

- Cara membuat larutan fiksatif 'M3' ialah dengan melarutkan 5 g KI, 10 g yodium, 50 mL asam asetat glasial, dan 250 mL formalin ke dalam 1 L akuades. Kalium iodida dapat dilarutkan dalam sedikit air untuk membantu melarutkan yodium.
- Untuk mengawetkan sampel dengan fiksatif 'M3', tambahkan 20 mL fiksatif ke sampel 1 L dan simpan di tempat gelap.

f. Glutaraldehid:

- Untuk mengawetkan sampel dengan glutaraldehid, tambahkan glutaraldehid yang dinetralkan untuk menghasilkan konsentrasi akhir 1 hingga 2%.

Catatan:

Untuk mempertahankan warna pada fitoplankton yang diawetkan, simpan sampel di tempat gelap atau tambahkan larutan tembaga sulfat jenuh (CuSO_4) sebanyak 1 mL/L sampel.

2. Zooplankton.

a. Alkohol:

- Untuk mengawetkan sampel dengan alkohol, tambahkan alkohol 95% ke dalam sampel hingga konsentrasi akhir 70%.

b. Buffer formalin:

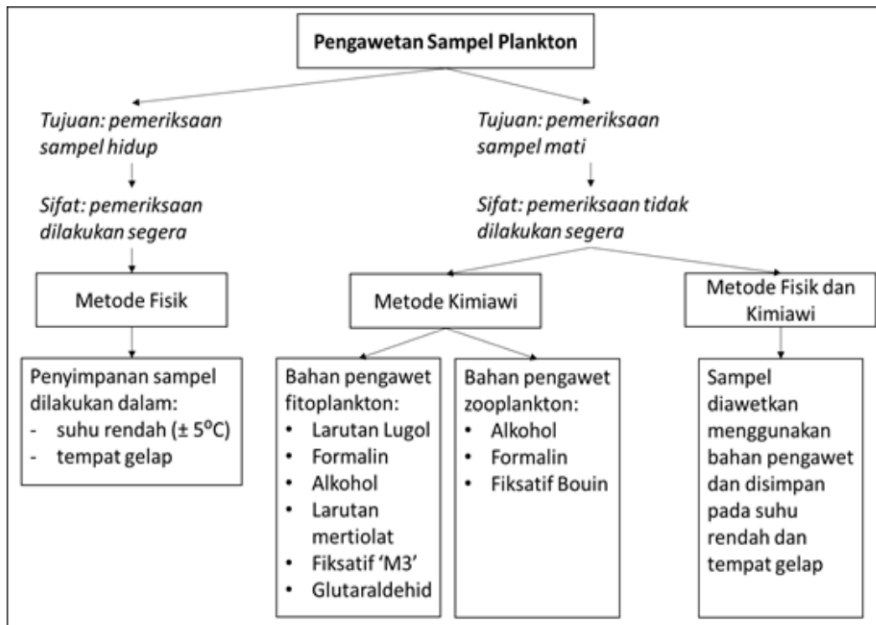
- Untuk mengawetkan sampel dengan buffer formalin, tambahkan larutan formalin ke dalam sampel hingga konsentrasi akhir 4-5%.
- Formalin dapat digunakan selama 48 jam pertama pengawetan dan selanjutnya dipindahkan ke dalam alkohol 70%. Penggunaan formalin sebagai pengawet dapat menyebabkan distorsi terutama pada sampel yang memiliki bentuk pleomorfik seperti protozoa dan rotifera. Disamping itu, untuk meminimalisir distorsi karapas

dan hilangnya telur pada krustasea, terutama cladocerans, formalin dibuat dalam air jenuh sukrosa.

c. Fiksatif Bouin:

- Fiksatif Bouin merupakan larutan asam pikrat jenuh dalam buffer formaldehida dan kalsium karbonat yang mengandung asam asetat sebanyak 5% (v/v).
- Untuk mengawetkan sampel dengan fiksatif Bouin, tambahkan fiksatif Bouin ke dalam sampel dengan perbandingan 1:19. Fiksatif Bouin dapat digunakan untuk mikrozooplankton bertubuh lunak.

Secara umum, teknik pengawetan sampel plankton dapat dilihat melalui diagram pada Gambar 2.22. Gambar 2.23 menunjukkan kegiatan pemberian lugol untuk mengawetkan sampel plankton di lapangan sebelum dibawa ke laboratorium.



Gambar 2.22 Diagram alir pengawetan sampel plankton



(a)

(b)



(c)

Gambar 2.23 Kegiatan pengawetan sampel plankton di lapangan sebelum dibawa ke laboratorium. (a) pemberian lugol pada sampel plankton, (b) sampel plankton yang telah diberi lugol, (c) penyimpanan sampel plankton yang telah diawetkan pada *coolbox* berisi *ice pack*

BAB 3

Analisis Plankton

Sampel yang telah diperoleh dari lapangan kemudian dianalisis. Analisis sampel plankton yang umum dilakukan adalah pencacahan plankton di bawah mikroskop dan pengukuran kandungan klorofil untuk fitoplankton. Dalam bab ini akan dibahas secara khusus mengenai analisis sampel plankton dengan metode pencacahan.

3.1 Pencacahan Plankton

Pencacahan plankton merupakan proses enumerasi atau penghitungan individu plankton dari sampel plankton. Prosedur yang dilakukan dalam proses pencacahan tersebut meliputi preparasi sampel, penentuan sub-sampel minimum sebagai dasar banyaknya sampel minimum yang harus dihitung, penghitungan, dan identifikasi jenis plankton.

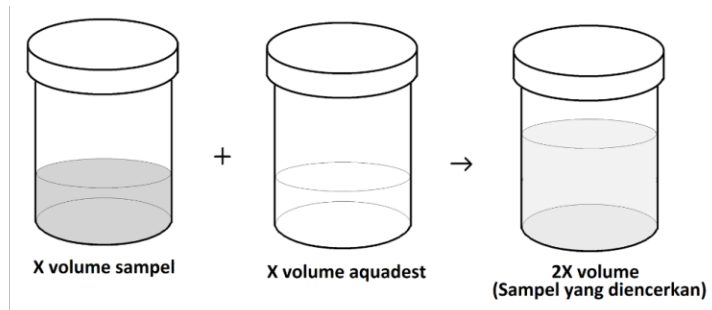
A. Preparasi Sampel

Sebelum dilakukan penghitungan dan identifikasi plankton, terlebih dahulu perlu dilakukan preparasi sampel untuk melihat apakah sampel plankton yang ada dapat dengan mudah untuk dihitung atau tidak. Apabila plankton yang terdapat pada sampel terlalu banyak atau terlalu sedikit sehingga menyulitkan proses penghitungan, maka dapat dilakukan perlakuan terhadap sampel berupa pengenceran atau pemekatan sampel.

1. Teknik Pengenceran Sampel

Jika jumlah plankton pada sampel sangat melimpah sehingga menumpuk dan sulit untuk diidentifikasi dan dihitung, maka sampel plankton perlu diencerkan. Pengenceran dapat dilakukan dengan menambahkan sejumlah akuades bebas organisme ke dalam botol sampel secara langsung atau dengan mencuplik sejumlah sampel kemudian mencampurnya dengan sejumlah akuades di dalam botol/tabung yang baru. Besarnya tingkat pengenceran sangat bergantung pada tingkat

kepekatan sampel asal, semakin pekat sampel maka semakin tinggi tingkat pengenceran. Contoh teknik pengenceran ialah dengan mencuplik sampel sebanyak 1 mL dari sampel asal lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL akuades. Dengan demikian, sampel tersebut telah diencerkan sebanyak 10 kali atau 10^1 . Setelah dilakukan proses penghitungan, jumlah plankton yang diperoleh selanjutnya dikalikan dengan faktor pengenceran. Ilustrasi teknik pengenceran sampel dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Contoh pengenceran sampel plankton sebanyak dua kali (2X)

2. Teknik Pemekatan Sampel

Jika jumlah plankton pada sampel sangat sedikit dan menyebabkan tidak efektifnya proses pencacahan, maka dalam praktiknya sampel tersebut dapat dipekatkan terlebih dahulu. Berdasarkan APHA (2017), hal yang perlu diperhatikan dalam proses pemekatan ialah bahwa faktor pengali harus kurang dari 25 (dimana setiap organisme atau sel yang dihitung tidak mewakili lebih dari 25 organisme atau sel pada sampel alami). Teknik pemekatan plankton dibedakan untuk fitoplankton dan zooplankton, yaitu:

a. Pemekatan Fitoplankton

- Teknik Sedimentasi

Sedimentasi merupakan teknik yang biasa dipilih untuk pemekatan karena nonselektif (tidak seperti filtrasi) dan nondestruktif (tidak seperti

filtrasi atau sentrifugasi). Meskipun demikian, pada sampel yang tidak diawetkan, banyak pikoplankton, nanoplankton, serta flagellata yang aktif berenang tidak akan mengendap sepenuhnya. Teknik ini juga mungkin menjadi terlalu lama jika hasilnya dibutuhkan cepat. Volume sampel yang dipekatkan bervariasi sesuai dengan kelimpahan organisme dan berhubungan dengan kekeruhan sampel. Teknik ini dilakukan dengan membiarkan sampel selama 1 jam per milimeter kedalaman kolom atau 0,5 jam/mm kedalaman untuk sampel yang diawetkan dengan lugol. Sampel dipindahkan secara perlahan untuk menghindari distribusi nonrandom. Selanjutnya, untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan, supernatan dipindahkan secara perlahan menggunakan pipet dengan meletakkan pipet tepat di bawah permukaan air. Kemudian sampel yang telah dipekatkan dapat dihitung.

- Teknik Membran Filtrasi

Teknik membran filtrasi memungkinkan untuk dilakukan penghitungan terhadap plankton kecil (flagellata dan cyanobacteria). Kekurangan teknik ini adalah dapat mendistorsi plankton yang rapuh seperti beberapa jenis flagellata, serta ketika populasi padat dan komponen detritus tinggi maka filter dapat tersumbat lebih cepat dan dapat menghancurkan organisme atau menghilangkannya dari pandangan. Kelebihan teknik ini adalah memberikan kesempatan untuk pembuatan penempelan pada kaca objek permanen dan membuat preparasi sampel secara cepat. Prosedur pada teknik ini adalah dengan menuangkan sampel setelah dihomogenkan ke dalam corong yang telah dilapisi membran filter (diameter 25 mm, ukuran pori 0,45 μm). Lalu menarik sampel dengan menggunakan *vacuum* dengan kekuatan <50 kPa sampai sampel bersisa sekitar 0,5 cm. Selanjutnya, *vacuum* dilepaskan dan dengan *vacuum* berkekuatan rendah (12 kPa) untuk menghilangkan sisa air. Filter dijaga jangan sampai kering.

- Teknik Sentrifugasi

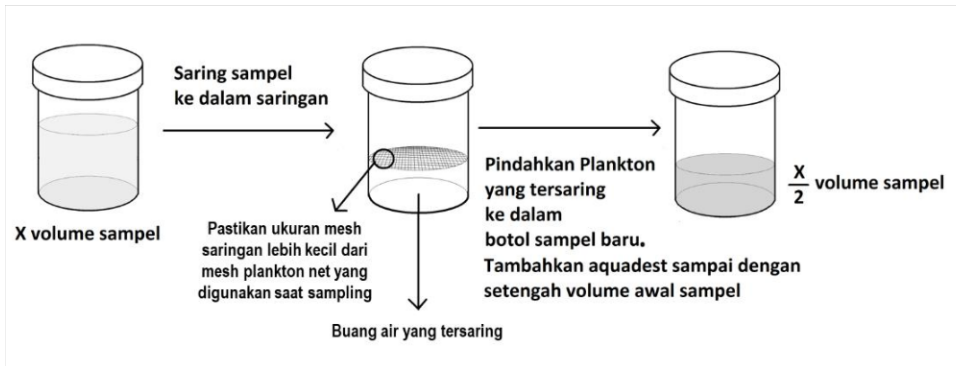
Plankton dapat dipisahkan melalui serangkaian sentrifugasi. Sentrifugasi sampel pada 1.000 g selama 20 menit. Sentrifugasi dapat mengakselerasi sedimentasi namun lebih sering merusak organisme yang rapuh. Teknik ini tidak disarankan untuk analisis kuantitatif.

b. Pemekatan Zooplankton

Sampel zooplankton sering membutuhkan pemekatan, terutama ketika menggunakan metode pengambilan sampel dengan botol air besar atau pompa. Lebih lanjut, sampel yang didapatkan dengan jala atau metode lain terkadang juga membutuhkan pemekatan lebih lanjut untuk penyimpanan atau persiapan pemeriksaan. Ketika hanya perlu sedikit volume yang direduksi, sampel dituangkan kembali ke dalam botol. Namun, ketika volume yang perlu direduksi besar, botol plankton lebih besar atau corong dengan retensi volume air digunakan untuk menyaring area permukaan. Ukuran *mesh* filter corong umumnya sama besar dengan jala *plankton net* atau alat pengambilan sampel lapangan lainnya.

Catatan:

Modifikasi teknik membran filtrasi atau teknik pemekatan zooplankton yang lebih sederhana dapat dilakukan dengan membuat filter dari jala plankton dengan ukuran yang sama atau lebih kecil dari ukuran jala *plankton net* yang digunakan saat pengambilan sampel di lapangan. Oleh karena ukuran filter yang digunakan cukup besar bila dibandingkan dengan membran filter seperti yang dijelaskan di atas, maka pada teknik modifikasi ini proses filtrasi atau pemisahan sampel dan air tidak diperlukan *vacuum*. Sampel yang tertahan dan terkumpul pada permukaan filter dapat diambil dan diberi akuades bebas organisme dengan volume yang diinginkan. Selanjutnya sampel dapat dihitung di bawah mikroskop. Ilustrasi pemekatan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Contoh pemekatan sampel plankton sebanyak dua kali ($X/2$)

B. Teori Jumlah Sub-Sampel Minimum

Sampel plankton yang telah berhasil dikumpulkan di lapangan akan melewati beberapa tahapan sebelum akhirnya diperoleh data final. Venrick (1978) menuliskan bahwa tahapan tersebut adalah tahapan pengawetan/preservasi, *subsampling*, dan pencacahan. Masing-masing tahapan tersebut memungkinkan untuk terjadinya bias atau penyimpangan. Bias yang terjadi pada tahapan pengawetan dapat dihindari dengan pemilihan bahan pengawet yang sesuai. Namun, bias yang terjadi saat melakukan *subsampling* tidak mungkin dapat dihilangkan karena tidak ada cara untuk memastikan apakah sub-sampel yang diambil merupakan representasi sempurna dari sampel yang sudah dikumpulkan.

Subsampling adalah tahapan pencuplikan dari sampel awal atau dengan kata lain mengambil sampel kecil dari sampel asal yang lebih besar. Dalam analisis plankton, *multi-stage subsampling* sangat mungkin dilakukan. *Subsampling* ini dapat terjadi pula pada tahapan pemekatan sampel atau pengenceran sampel. Sampel plankton yang terkumpul akan dianalisis dan dihitung di bawah mikroskop setelah melalui tahapan pengenceran atau pemekatan. Student (1907) menyebutkan bahwa terdapat dua kesalahan utama saat melakukan penghitungan sel di bawah mikroskop. Kesalahan pertama adalah kemungkinan spesimen yang diambil dan diamati di bawah mikroskop tidak menggambarkan sampel secara keseluruhan, lalu kemungkinan kedua adalah tidak tersebarnya sel secara merata di lapang pengamatan. Dengan demikian, perlu

diperhatikan bahwa setiap kali tahapan *subsampling* dilakukan, akan muncul kemungkinan penambahan *error* atau bias pada penghitungan yang dihasilkan.

Selanjutnya, timbul pertanyaan berapa jumlah sel yang harus dihitung untuk mendapatkan data yang representatif dari sampel yang berhasil dikumpulkan. Jawabannya akan kembali pada prinsip dasar pengumpulan sampel yaitu secara teoritis semakin besar/banyak cuplikan yang dihitung dan dianalisis, hasilnya akan semakin mendekati populasi utama. Walaupun demikian, penghitungan ini harus mempertimbangkan juga efisiensi waktu dan tenaga yang tersedia.

APHA (2017) menyebutkan bahwa jika organisme plankton yang dianalisis bersifat acak dan sebaran populasinya sesuai dengan pola distribusi Poisson, maka dengan tingkat kepercayaan 95% galat perhitungan dapat diestimasi dengan rumus:

$$\frac{2}{\sqrt{N}} \times 100\%$$

dimana N adalah natural unit atau jumlah sel yang dihitung. Dengan demikian, jika terdapat 100 sel plankton yang dihitung, maka galat penghitungan adalah $\pm 20\%$ pada tingkat kepercayaan 95%. Sementara, jumlah minimum yang disarankan APHA (2017) untuk menghitung jumlah sel dengan tingkat galat $\pm 10\%$ adalah sebesar 300–400 sel. Nilai ini diperoleh dari penelitian Student (1907) dimana studi kasus dilakukan dengan melakukan penghitungan sel ragi menggunakan Haemocytometer. Sel ragi yang dihitung memiliki ukuran yang relatif sama. Student (1907) menuliskan bahwa kemungkinan galat akan selalu bertambah dari yang diperhitungkan oleh rumus tersebut ketika ukuran sel yang dihitung bervariasi. Pada penghitungan dengan menggunakan Sedgwick-Rafter, Lund *et al.* (1958) menyarankan untuk menghitung setidaknya sebanyak 100 sel. Untuk mendapatkan data yang cukup, penghitungan tersebut setidaknya dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dari setiap sampel sehingga diperoleh nilai rata-rata dan standar deviasinya.

C. Teknik Pencacahan Plankton

Sampel plankton yang telah dipisahkan atau diencerkan sebelumnya dapat dihitung menggunakan berbagai metode pencacahan dan diperiksa di bawah mikroskop cahaya. Metode pencacahan plankton dapat dilakukan dengan menggunakan bilik hitung, penempelan kaca objek semi permanen, maupun kaca objek permanen. Pemilihan metode bergantung pada kecukupan sumber daya, panjang waktu analisis, rentang ukuran organisme, serta spesifikasi mikroskop (APHA, 2017). Salah satu metode yang telah teruji dan mudah dilakukan salah satunya adalah metode bilik hitung. Empat tipe dari metode ini yang paling umum digunakan dan terbagi berdasarkan rentang spesifik ukuran sel adalah Sedgwick-Rafter, Palmer-Maloney, Hemocytometer *Improved* Neubauer, dan Petroff Hausser. Perbedaan secara umum keempat tipe bilik hitung tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1. Untuk penghitungan yang efisien dan memastikan plankton besar dan kecil terhitung dapat digunakan dua tipe yang berbeda.

Tabel 3.1 Metode Bilik Hitung Secara Umum
(Dimodifikasi dari LeGresley & McDermott, 2010)

Bilik Hitung	Sedgwick Rafter	Palmer Maloney	Haemocytometer	Petroff Hausser
Cakupan	Kultur dan jumlah sel tinggi	Kultur dan jumlah sel sangat tinggi seperti pada kondisi <i>blooming</i>	Kultur dan konsentrasi sel organisme kecil ekstrem	Kultur dan konsentrasi sel organisme kecil ekstrem
Rentang Ukuran Plankton	Net plankton	Nanoplankton	Pikoplankton dan nanoplankton (5-75 μm)	Pikoplankton (<1-5 μm)
Volume Sampel/ Pengamatan	1 mL	0,1 mL	0,0018 mL	2×10^{-5} mL
Rentang Deteksi	Limit Deteksi (LD) 1000 sel/L	LD 10.000 sel/L	LD 10.000.000 sel/L	LD 100.000.000 sel/L
Kelebihan	Perkiraan cepat konsentrasi sel tinggi	Perkiraan cepat konsentrasi sel sangat tinggi	Perkiraan cepat konsentrasi sel ekstrem	Perkiraan cepat konsentrasi sel ekstrem
Kekurangan	Hasil akurat didapatkan hanya ketika sampel mengandung sel dengan kepadatan tinggi	Hasil akurat didapatkan hanya ketika sampel mengandung jumlah sel dengan kepadatan sangat tinggi	Hasil akurat didapatkan hanya ketika sampel mengandung jumlah sel dengan kepadatan ekstrem	Hasil akurat didapatkan hanya ketika sampel mengandung jumlah sel dengan kepadatan ekstrem

a) Sedgwick Rafter

Teknik Sedgwick Rafter adalah teknik pencacahan plankton tradisional untuk kuantifikasi cepat kultur dan sampel dengan jumlah sel yang tinggi. Sedgwick Rafter dapat digunakan untuk menghitung makroplankton dan net plankton (Britton & Greeson, 1987). Batas deteksi teknik ini adalah 1.000 sel/L. Kaca objek terdiri dari dasar transparan dengan bilik di tengah (50 mm x 20 mm x 1 mm) yang dapat menampung sampel sebanyak 1 mL. Pada dasar dari bilik ini terdapat *grid* berukuran 1 mm sehingga 1 mL sampel terbagi ke dalam mikroliter tunggal. Bilik ini ditutupi oleh kaca penutup untuk menghindari sampel mengering dan terganggu oleh aliran udara (Gambar 3.3(a)).

Prosedur penggunaan talam ini adalah dengan memipet 1 mL sampel yang homogen ke dalam bilik hitung dengan posisi kaca penutup seperti Gambar 3.3(b) untuk menghindari adanya gelembung udara, kemudian kaca penutup diputar/digeser sampai menutupi seluruh permukaan bilik hitung berisi sampel dan mulai periksa sampel di bawah mikroskop dengan perbesaran rendah untuk memperkirakan konsentrasi sampel. Dengan informasi ini dapat ditentukan strategi penghitungan apakah harus seluruh bilik atau hanya fraksi yang dihitung. Jika konsentrasi sampel terlalu rapat dan sel terlihat menumpuk, lakukan pengenceran (Hallegraeff *et al.*, 2004). Pada penghitungan fraksi perlu diperhatikan bahwa jumlah kotak yang harus dihitung minimal 30 kotak secara acak atau hitung sepanjang dua baris (40 kotak) untuk menghindari efek tepi (plankton lebih banyak mengendap mendekati dinding bilik hitung daripada di bagian tengah). McAlice (1971) mengungkapkan bahwa penghitungan 30 kotak diperkirakan dapat menunjukkan 90-95% dari spesies yang ada. Selanjutnya, dari kotak tersebut harus dihitung minimal 23 unit (sel, koloni/filamen) plankton dari keseluruhan taxa dominan yang ada untuk mendapatkan presisi penghitungan $\pm 30\%$. Jika tidak terpenuhi maka harus dihitung dari kotak atau baris tambahan (Suthers & Rissik, 2008).

Untuk menghindari penghitungan berulang, harus ditentukan sebelumnya dua sisi dari empat sisi tiap kotak yang akan dihitung (contohnya menghitung bagian bawah dan kanan serta mengabaikan sel yang menyentuh bagian kanan dan bawah kotak seperti pada Gambar 3.3(c)). Arah penghitungan tiap barisnya adalah zigzag (Gambar 3.3(d)) untuk menghindari terjadinya kesalahan baris saat menghitung.

Kelimpahan plankton dapat dihitung dengan rumus (Bellinger & Sigeo, 2015):

$$T = \frac{1000C}{pN}$$

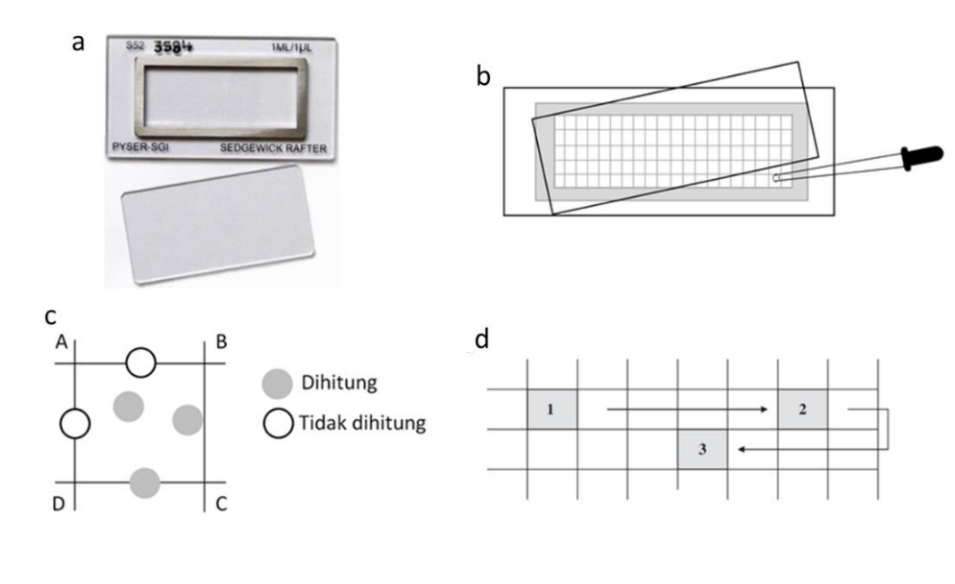
Dengan:

T = Jumlah plankton (sel tunggal/koloni) per mL sampel (sel/mL)

C = Jumlah plankton yang dihitung

N = Jumlah kotak yang dihitung

p = Faktor pengenceran (jika diencerkan)

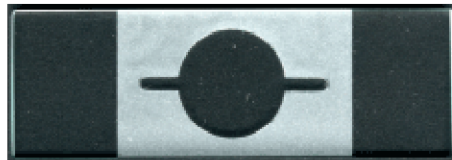


Gambar 3.3 Desain bilik hitung Sedgwick Rafter dan protokol penghitungan (a) Foto Sedgwick Rafter (<https://qualividros.com/>); (b) Pengisian bilik dengan suspensi plankton; (c) Penghitungan dalam satu kotak; (d) Arah penghitungan tiap baris

b) Palmer Maloney

Teknik Palmer-Maloney merupakan teknik pencacahan cepat dan langsung yang pada awalnya digunakan untuk menghitung nanoplankton. Teknik ini berguna untuk kultur, sampel dengan densitas sel tinggi, sampel tarikan jala atau sampel yang telah dikonsentrasikan sebelumnya. Batas deteksi dari teknik ini, yaitu 10.000 sel/L atau 10

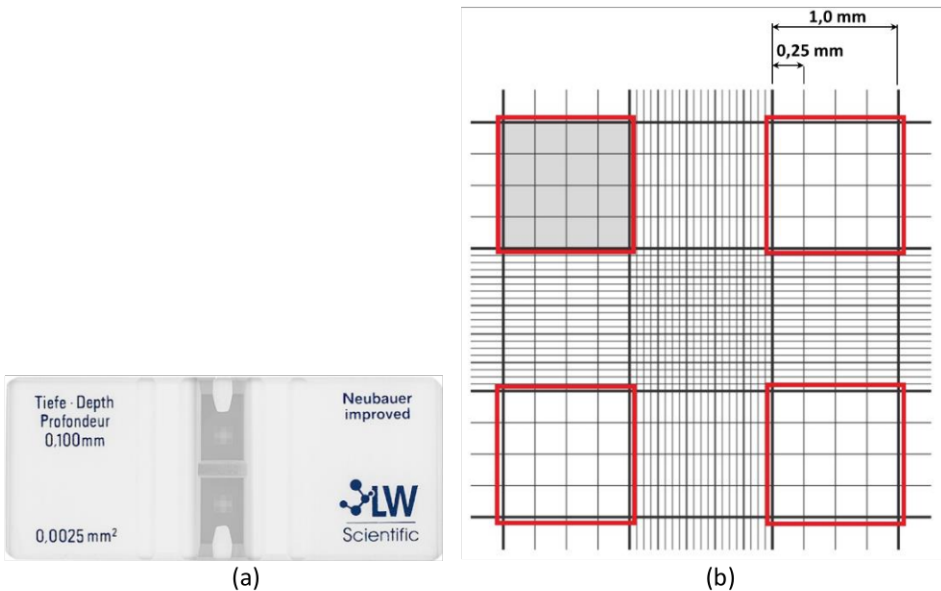
sel/mL. Teknik ini murah dan cepat serta seluruh komunitas plankton dapat terobservasi termasuk alga berbahaya. Talam Palmer-Maloney memiliki bilik hitung berbentuk bulat dengan diameter 17,9 mm, kedalaman 400 μm dan dapat menampung sampel dengan volume 0,1 mL (Gambar 3.4). Dua kanal *loading* berada pada kedua sisi kaca objek hitung. Kaca objek ini tidak memiliki penggaris atau *grid*. Prosedur penggunaan talam ini, yaitu kaca penutup harus diletakkan di atas bilik hitung. Sampel yang telah homogen dipipet dan dimasukkan ke kanal *loading*. Pastikan agar tidak terbentuk gelembung, mulai penghitungan dari tepi atas atau bawah dan dilanjutkan hingga seluruh area bilik teramati kecuali bagian kanal. Karena volume kaca objek Palmer-Maloney adalah 0,1 mL, kalikan jumlah hitungan dengan 10.000 untuk mendapatkan jumlah sel/L (LeGresley & McDermott, 2010).



Gambar 3.4 Bilik hitung Palmer-Maloney
(Sumber: <http://hausserscientific.com>)

c) Hemocytometer *Improved Neubauer*

Haemocytometer merupakan salah satu teknik pencacahan yang secara praktis digunakan untuk menghitung kultur dan organisme berukuran kecil ($<30 \mu\text{m}$) dengan konsentrasi sel sangat tinggi. Haemocytometer sesuai digunakan untuk menghitung plankton berukuran 5-75 μm (Guillard, 1978; Britton & Greeson, 1987). Batas deteksi teknik ini, yaitu 10^5 - 10^7 sel/L. Haemocytometer yang umum digunakan memiliki kedalaman 0,1 mm dengan *improved Neubauer* (Gambar 3.5(a)). Setiap bilik memiliki persegi besar berukuran 1 mm x 1 mm dan dipisahkan oleh dua atau tiga Neubauer. Volume persegi besar adalah 0,1 mm³ atau 10^{-4} mL.



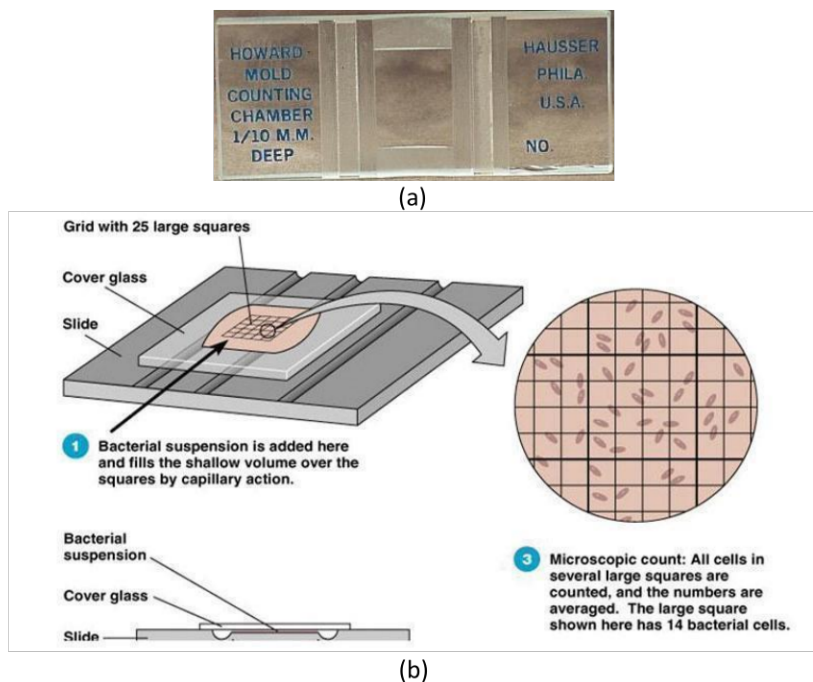
Gambar 3.5 (a) Bilik hitung Hemocytometer Neubauer Improved (<http://www.uniscielab.com>) dan (b) Ilustrasi kotak yang dihitung pada bilik Hemocytometer

Prosedur dari teknik ini, yaitu dengan meletakkan kaca penutup di atas kedua bilik haemocytometer, kemudian memasukkan sampel yang telah dihomogenkan ke dalam bilik dengan sudut 30-45 derajat. Aksi kapilaritas akan mengalirkan sampel ke seluruh bilik. Jumlah organisme pada keseluruhan bagian dalam empat kotak besar terluar (Gambar 3.5(b)) dihitung dan dicatat. Untuk menghindari penghitungan berulang, harus ditentukan atau dibuat ketetapan sebelumnya dua sisi yang mana dari empat sisi tiap kotak yang akan dihitung (contohnya sel yang menyentuh garis bagian atas dan kiri kotak dihitung sedangkan sel yang menyentuh bagian kanan dan bawah kotak diabaikan) (LeGresley & McDermott, 2010). Kelimpahan sel dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kelimpahan sel (sel/mL)} = \text{rata - rata jumlah sel (dari 4 kotak)} \times 10^4 \times FP$$

d) Petroff Hausser

Teknik Petroff-Hausser adalah teknik pencacahan plankton berukuran $<1-5 \mu\text{m}$ (kelompok pikoplankton) (Guillard, 1973) seperti *Micromonas* sp. dan *Synechococcus* sp. (Guillard, 1978). Teknik ini biasa juga digunakan untuk menghitung bakteri, sperma, serta sel darah. Petroff-Hausser yang dilengkapi dengan Improved Neubauer memiliki kedalaman 0,02 mm dan dapat menampung volume 2×10^{-5} mL (Gambar 3.6). Jumlah sel yang dapat diamati dengan talam ini adalah 10^5 - 10^8 sel/L.



Gambar 3.6 (a) Bilik hitung Petroff-Hausser dan (b) ilustrasi bilik Petroff-Hausser (Sumber: (a) <https://www.thomassci.com/> dan (b) <https://microbenotes.com/direct-microscopic-counts/>)

Prosedur penggunaannya yaitu meletakkan kaca penutup terstandar diletakkan di atas bilik hitung Petroff-Hausser dan ditetaskan satu tetes suspensi organisme di tepi kaca penutup. Aksi kapilaritas akan terjadi di bawah kaca penutup. Lalu ditunggu 1-2 menit sampai pergerakan cairan berhenti dan sel-sel tidak bergerak. Kemudian dengan

perbesaran objektif rendah, fokus pada grid di bagian tengah, pengamat akan melihat area yang meliputi 25 kotak besar yang tiap kotaknya memiliki 16 kotak kecil dan setiap kotak besar dipisahkan oleh tiga garis. Setelah itu pada perbesaran lebih tinggi dihitung sel di bagian tengah tersebut (area 1 mm x 1 mm) (Hausser Scientific, 2011). Bilik hitung Petroff-Hausser digunakan karena ukuran kaca objek lebih tipis sehingga memungkinkan iluminasi objek yang lebih baik dibandingkan dengan haemocytometer, terutama ketika dibutuhkan penggunaan kondenser imersi untuk mendapatkan fluoresens (Wood, 1956). Kelimpahan plankton dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kelimpahan Sel (sel/mL)} = \text{Jumlah sel yang dihitung} \times \text{pengenceran (jika diencerkan)} \times 50.000$$

D. Identifikasi Jenis Plankton

Dewasa ini identifikasi jenis plankton dapat dilakukan dengan teknik molekuler berdasarkan DNA. Namun berbagai fitur morfologi plankton masih dapat digunakan untuk identifikasi plankton dengan mikroskop. Fitur morfologi yang perlu diperhatikan diantaranya ukuran, bentuk dan warna sel, susunan sel (tunggal, filamen, koloni), tipe dinding sel, dan ada atau tidaknya serta posisi flagel dan organel serta spesialisasi sel lainnya (Suthers & Rissik, 2008).

Identifikasi plankton dilakukan di bawah mikroskop dengan mencocokkan ciri-ciri jenis yang diamati mulai dari ciri umum untuk mengetahui klasifikasi yang lebih tinggi sampai dengan ciri khusus untuk mengetahui hingga tingkat jenis dan dicocokkan dengan buku identifikasi acuan. Buku-buku yang dapat digunakan sebagai acuan dalam identifikasi plankton diantaranya ialah: *Freshwater Biology* (Edmondson, 1959), *A Textbook of Algae* (Kamat, 1976), *How to Know the Freshwater Algae, 3rd edition* (Prescott et al, 1978), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrate* (Thorp & Covich, 2001), *Zooplankton Methodology, Collection & Identification – a field Manual* (Goswami, 2004), *Plankton: a Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality* (Suthers & Rissik, 2008), *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators* (Bellinger & Sigeo, 2015), dan *Freshwater Algae*

of North America: Ecology and Classification (Wehr *et al.*, 2015). Identifikasi dan penghitungan plankton adalah hal yang membutuhkan kesabaran, latihan dan pengalaman untuk dapat dilakukan dengan benar. Berbagai tuntunan dan kunci taksonomi telah banyak dipublikasikan oleh para ahli untuk membantu dalam identifikasi plankton perairan tawar maupun laut. Dalam perkembangannya, seiring dengan kebaruan yang ditemukan para ahli, klasifikasi suatu organisme dapat berubah, demikian pula tata nama organisme tersebut. Beberapa situs online yang telah dikembangkan oleh berbagai insitusi dapat digunakan untuk membantu identifikasi plankton, diantaranya yaitu: <http://www.marinespecies.org/>, <https://www.algaebase.org/>, <https://www.biolib.cz/>, dan <http://protist.i.hosei.ac.jp/>.

Klasifikasi suatu organisme dilakukan untuk memudahkan dalam pengelompokannya pada saat melakukan identifikasi. Klasifikasi tersebut didasarkan kepada pemikiran para ahli dalam mengelompokkan makhluk hidup sesuai dengan syarat internasional. Urutan klasifikasi makhluk hidup dari tingkat yang paling tinggi hingga paling rendah ialah:

- Domain (Daerah)
- Kingdom (Kerajaan)
- Phylum (Filum) untuk hewan/Division (Divisi) untuk tumbuhan
- Class (Kelas)
- Order (Bangsa)
- Family (Suku)
- Genus (Marga), dan
- Species (Jenis)

Klasifikasi makhluk hidup dikelompokkan berdasarkan kerajaan (kingdom). Pengelompokan tersebut diantaranya ialah yang disebut sebagai klasifikasi 'Five Kingdom' yang terdiri atas:

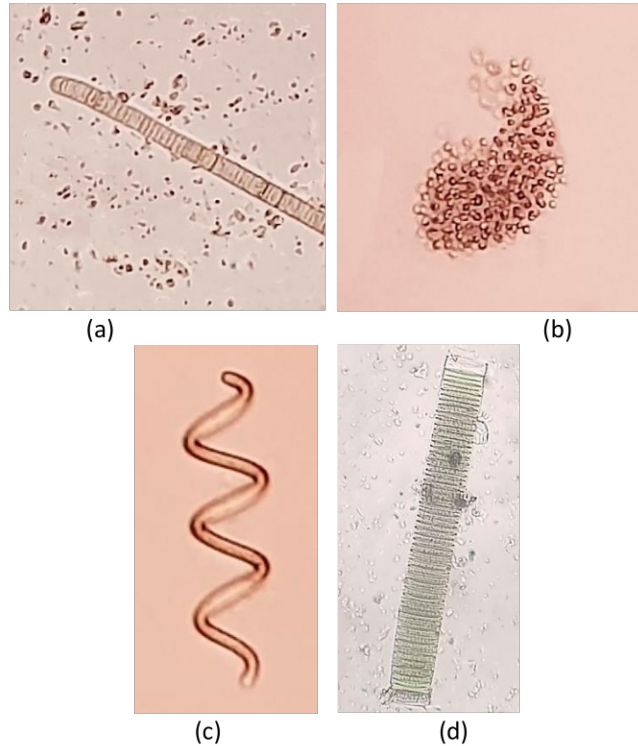
1. Kingdom Monera, yaitu organisme yang tidak memiliki membran inti, disebut prokariot, contohnya adalah bakteri.
2. Kingdom Protista, yaitu organisme eukariot bukan hewan, tumbuhan maupun jamur, bersel tunggal yang hidup secara mandiri atau membentuk koloni, contohnya adalah protozoa.

3. Kingdom Fungi, yaitu organisme eukariot, multiseluler, bersifat heterotrof dengan hidup baik sebagai parasit maupun saprofit, contohnya adalah jamur.
4. Kingdom Plantae, yaitu organisme eukariot yang bersifat autotrof dan memiliki pigmen untuk melakukan fotosintesis, contohnya adalah paku, lumut, dan tumbuhan berbiji.
5. Kingdom Animalia, yaitu organisme eukariot, multiseluler, bersifat heterotrof, dan dapat bergerak bebas, contohnya adalah hewan bertulang belakang.

Plankton sering dijadikan sebagai indikator lingkungan dan kualitas suatu perairan baik dalam tingkat jenis maupun komunitas karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan dan polusi dengan daur hidup yang pendek. Beberapa jenis melimpah di perairan eutrofik sedangkan lainnya sangat sensitif dengan limbah organik dan/atau kimiawi. Lebih lanjut, komposisi jenis plankton dapat menjadi indikator kualitas massa air dimana mereka ditemukan.

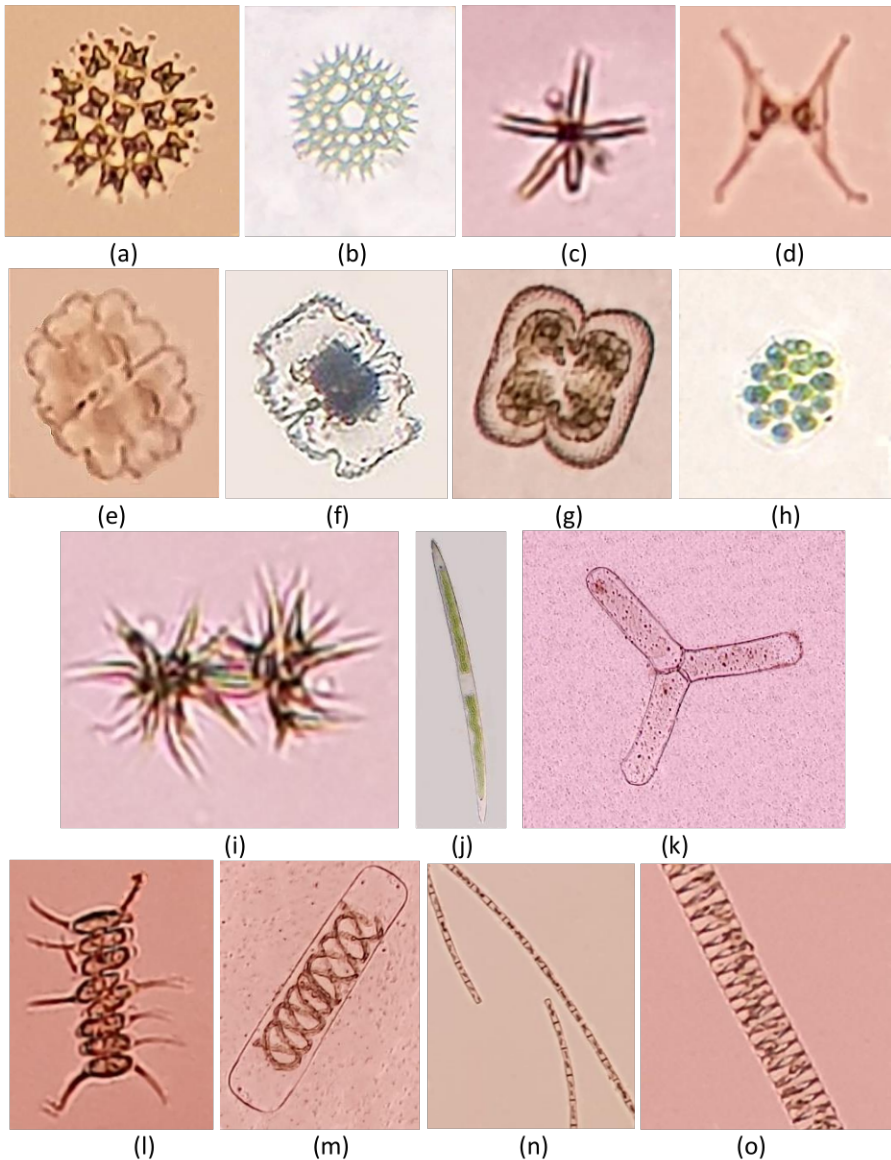
Fitoplankton yang umum ditemukan di perairan tawar sangat bervariasi. Setidaknya terdapat tujuh divisi alga yang umum merepresentasikan komunitas fitoplankton air tawar. Tujuh divisi tersebut meliputi alga pada divisi Cyanobacteria, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Pyrrophyceae dan kelompok alga lainnya. Contoh jenisnya, yaitu (Suthers & Rissik, 2008; Jena *et al.*, 2017):

- **Cyanobacteria** (alga hijau biru) termasuk kingdom Eubacteria (Prokariot), dapat memfiksasi nitrogen atmosfer menjadi nitrogen organik, memiliki dinding sel seperti bakteri gram negatif. Pigmen utamanya adalah klorofil a serta pigmen aksesori berupa fikosianin dan fikoeritrin. contohnya *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Spirulina*, *Lyngbya*, dan lain-lain (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 (a) *Oscillatoria* sp., (b) Koloni *Microcystis* sp., (c) *Spirulina* sp., (d) *Lyngbya* sp.

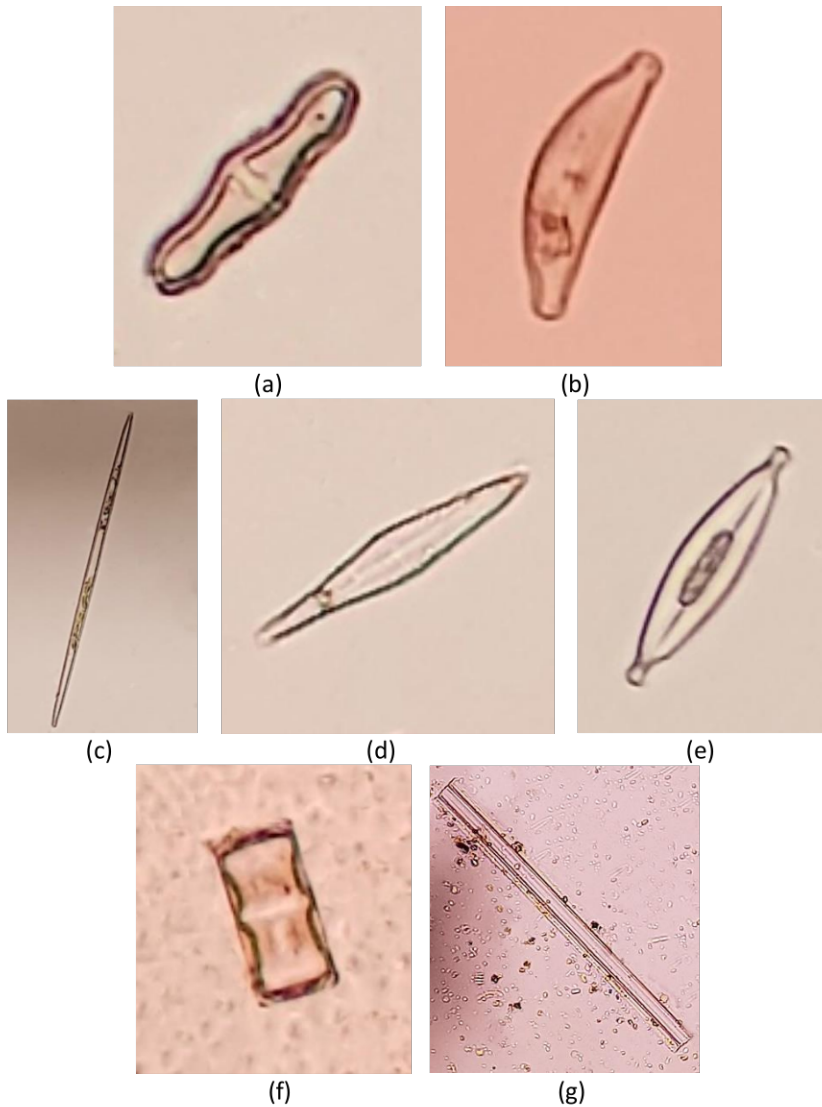
- Chlorophyceae** (alga hijau) merupakan alga paling melimpah dan bervariasi di antara alga perairan tawar lainnya. Chlorophyceae kebanyakan ditemukan di perairan tawar yang sehat. Alga ini merupakan organisme eukariot dengan nukleus tunggal dan kloroplas yang besar. Pigmen utamanya klorofil a dan b dan pigmen aksesori yaitu karoten dan xantofil. Contohnya *Chlorella*, *Volvox*, *Pediastrum*, *Staurastrum*, *Actinastrum*, *Euastrum*, *Selenastrum*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Eudorina*. Alga filamen seperti *Scenedesmus*, *Spirogyra*, *Ulothryx* dan lain-lain (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 (a) *Pediatrum boryanum*, (b) *Pediatrum* sp., (c) *Actinastrum* sp., (d) *Staurastrum* sp., (e) *Euastrum bidentatum*, (f) *Euastrum turgidum*, (g) *Cosmarium* sp., (h) *Eudorina* sp., (i) *Selastrum* sp., (j) *Closterium* sp., (k) *Hydrodictyon* sp., (l) *Scenedesmus armatus*, (m) *Spirogyra* sp., (n) *Mougeotia* sp., (o) *Ulothrix* sp.

- **Bacillariophyceae** (Diatom) merupakan alga tidak berflagel yang terdistribusi secara luas pada habitat tawar dan laut. Jenis planktonik dalam bentuk sel

tunggal atau koloni dan terkadang filamen. Fitur pembeda utama diatom adalah dinding sel yang tersusun atas silika. Pigmen utamanya adalah klorofil a, c₁ dan c₂ serta pigmen aksesoris berupa fukoxantin. Contohnya *Navicula*, *Synedra*, *Diatoma*, *Amphora*, *Rhopalodia*, *Pinnularia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Pleurosigma*, *Cyclotella*, dan lain-lain (Gambar 3.9).



Gambar 3.9 (a) *Rhopalodia* sp., (b) *Cymbella* sp., (c) *Synedra* sp., (d) *Gomphonema* sp., (e) *Anomoeneis* sp., (f) *Melosira* sp., (g) *Fragilaria* sp.

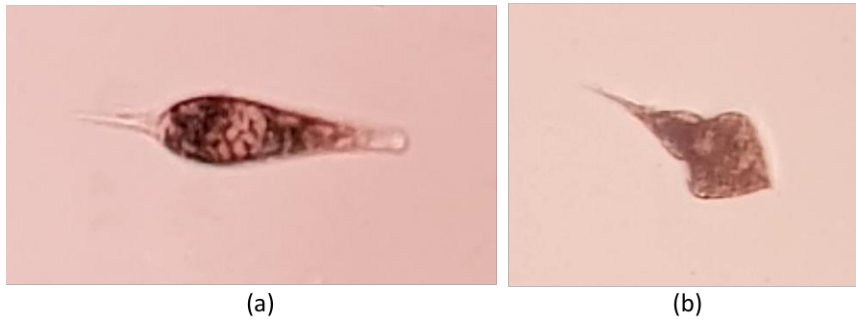
- **Pyrrophyceae** (atau **Dinophyceae**) (Dinoflagellata) merupakan fitoplankton yang umum di air tawar namun lebih banyak jenis di laut. Walaupun beberapa jenis laut terkenal dalam produksi berbagai toksin, jenis air tawar biasa dikategorikan tidak berbahaya. Dinoflagellata umumnya motil dengan dua flagel. Dinoflagellata fototrof memiliki pigmen utama klorofil a dan c_2 serta beberapa karotenoid unik seperti peridin. Contohnya *Peridinium*, *Ceratium*, dan lain-lain (Gambar 3.10).



Gambar 3.10 *Peridinium* sp.

Beberapa kelompok lain dari alga motil berflagel adalah:

- **Euglenophyceae** merupakan alga hijau, besar (15-500 μm), sel tunggal berflagel. Selnya berbentuk spiral dan dikelilingi oleh pelikel serta biasanya memiliki *eyespot* yang terletak pada sitoplasma. Euglenoid biasa ditemukan di kolam kecil dan/atau peternakan yang terindikasi tercemar bahan organik dari hewan. Pigmen utamanya adalah klorofil a dan b serta pigmen aksesori berupa beta karoten dan xantofil. Contohnya *Euglena*, *Phacus*, dan lain-lain (Gambar 3.11).



Gambar 3.11 (a) *Euglena* sp., (b) *Phacus* sp.

- **Cryptophyceae** merupakan alga sangat kecil (6-20 μm) dengan sel berbentuk ovoid pipih dan utamanya bersel tunggal dan sangat motil. Cryptomonad umum ditemukan di perairan lentik namun jarang dalam densitas sel tinggi. Pigmen utamanya adalah klorofil a dan c₂ ditambah dengan karoten, xantofil, fikosianin, dan fikoeritrin sebagai pigmen aksesori. Contohnya *Cryptomonas* dan *Rhodomonas*.
- **Chrysophyceae** (alga emas kecoklatan) merupakan plankton berbentuk ovate, motil dan berenang dengan bantuan dua flagel yang panjangnya tidak sama. Alga ini memiliki beberapa jenis yang preferensinya di air dingin yang tidak tercemar dan sedikit asidik. Pigmen utama klorofil a dan c₂ serta fukoxantin yang memberi warna emas kecoklatan. Contohnya *Mallomonas* dan *Synura*.

Sementara, zooplankton dapat ditemukan di hampir seluruh habitat perairan tawar. Kelompok zooplankton yang penting pada perairan tawar meliputi larva ikan, Copepoda, Cladocera, Rotifera dan Protozoa. Contoh jenisnya, yaitu (Suthers & Rissik, 2008; Jena *et al.*, 2017):

- **Larva Ikan** (Ichthyoplankton) merupakan komponen zooplankton yang umum, musiman, dan beragam pada sebagian besar habitat perairan tawar. Larva ikan biasanya sulit diidentifikasi hingga tingkat jenis karena memiliki morfologi yang

sangat berbeda dengan dewasa. Dibandingkan dengan estuari dan laut, tuntunan identifikasi larva ikan air tawar sangat terbatas. Kebanyakan ikan air tawar memiliki reproduksi musiman sehingga kelimpahan larva juga terjadi pada musim tertentu. Contohnya ialah larva ikan suku Cyprinidae dan Plotosidae.

- **Copepoda** adalah crustacea kecil yang memiliki sepasang kelengkapan tambahan pada bagian ventral tubuh untuk berenang maupun membuat arus air untuk menangkap makanan. Copepoda terdiri dari dua kelompok besar yaitu calanoid dan cyclopid. Contohnya ialah *Cyclops*, *Diaptomus*, dan lain-lain (Gambar 3.12).



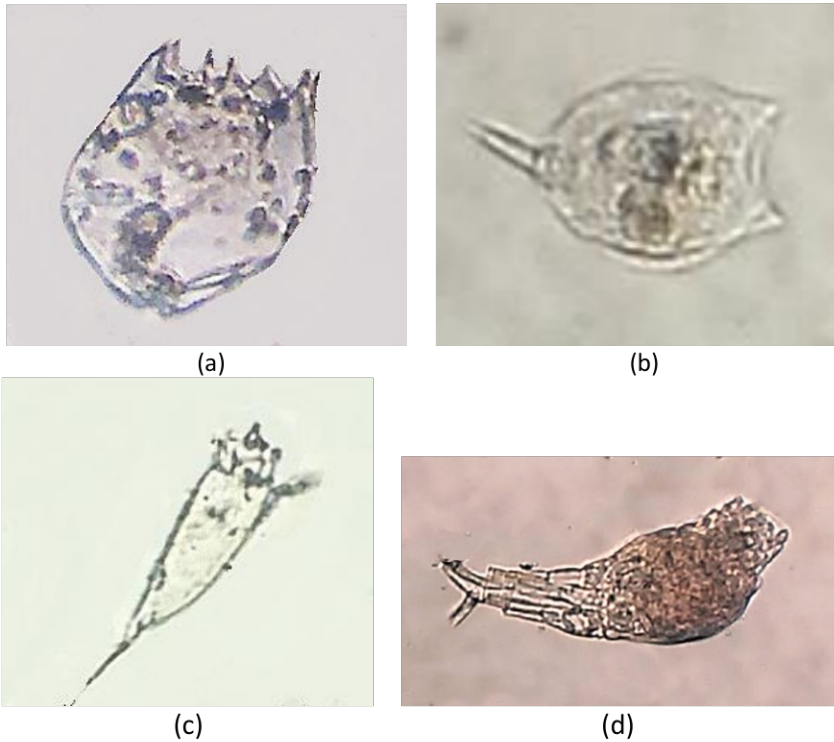
Gambar 3.12 *Cyclops* sp.

- **Cladocera** adalah crustacea kecil yang berukuran kurang dari 1-2 mm. Tubuhnya terdiri dari cangkang kaku berupa karapaks yang transparan. Kepala cladocera biasanya padat dengan mata yang jelas dan antena besar untuk berenang. Cladocera biasa memakan berbagai macam fitoplankton dan materi tersuspensi lainnya seperti bangkai tanaman, namun terdapat pula beberapa marga yang karnivor. Contohnya ialah *Moina* (Gambar 3.13).



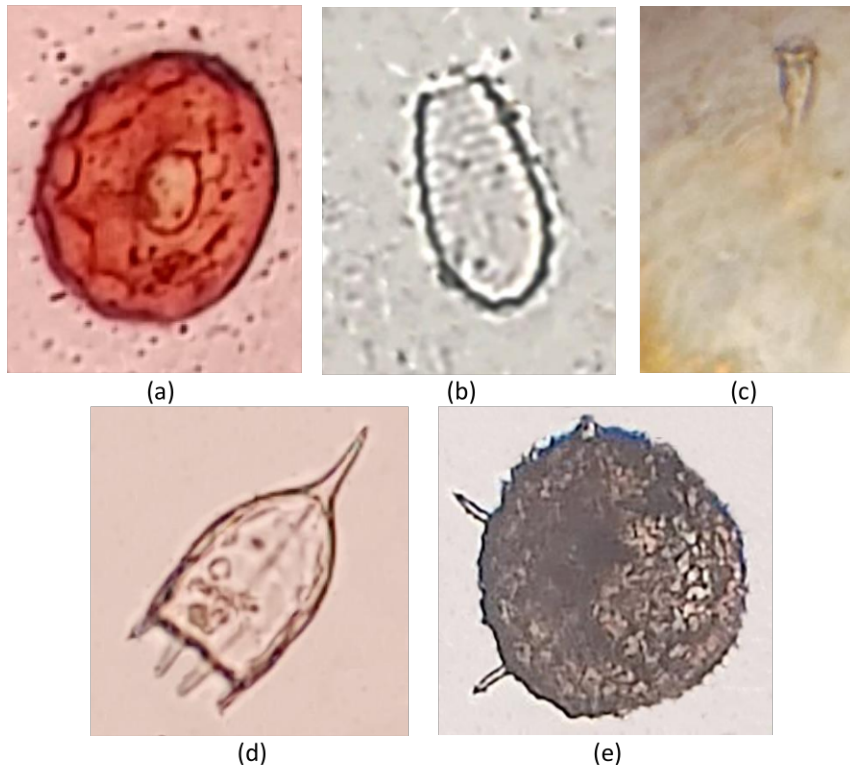
Gambar 3.13 *Moina* sp.

- **Rotifera** adalah hewan kecil berukuran 0,1-0,5 mm dengan hampir keseluruhan jenis hanya ada di perairan tawar. Bentuk tubuhnya dapat berupa bola, silinder atau memanjang. Tubuhnya dapat lembut atau juga keras karena terbungkus struktur yang disebut lorika. Struktur rahangnya (trofi) berbeda untuk tiap jenis dan digunakan dalam identifikasi. Rotifers memakan bakteri termasuk cyanobacteria dan fitoplankton, sebagian lainnya karnivor atau memakan rotifera lainnya. Contohnya *Brachionus*, *Keratella*, *Filinia*, *Rotaria*, *Monostyla*, *Trichocerca*, *Lecana*, dan lain-lain (Gambar 3.14).



Gambar 3.14 (a) *Brachionus* sp., (b) *Monostyla* sp., (c) *Trichocerca* sp., (d) *Philodina* sp.

- **Protozoa** adalah organisme mikroskopis bersel tunggal dengan berbagai bentuk tubuh (bola, oval, atau memanjang). Protozoa sering memiliki satu atau lebih flagel atau memiliki bulu getar cilia. Protozoa memakan bakteri termasuk cyanobacteria dan fitoplankton, sebagian lainnya karnivor atau memakan protozoa lain. Contohnya ialah *Arcella*, *Euglypha*, *Amoeba*, *Paramecium*, *Stentor*, *Vorticella*, dan lain-lain (Gambar 3.15).



Gambar 3.15 (a) *Arcella* sp., (b) *Euglypha* sp., (c) *Stentor* sp., (d) *Keratella* sp., (e) *Centropyxis* sp.

Desmid, Chrysophyceae, dan diatom dari marga *Tabellaria* dan *Cyclotella* adalah plankton yang ditemukan beragam pada danau oligotrofik jenis Caledonian; Cyanobacteria (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*) dan diatom *Asterionella*, *Aulacoseira*, *Fragilaria* dan *Stephanodiscus* adalah beberapa jenis yang ditemukan pada perairan yang lebih eutrofik. Diatom, Chlorophyta dan Cyanobacteria memiliki keberagaman serta adaptasi tinggi sehingga dapat ditemukan pada spektrum luas perairan dari ultra-oligotrofik hingga hipereutrofik. Secara umum, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* dan *Euglenoids* ditemukan di danau yang kaya nutrisi dan eutrofik. Sementara, *Ceratium*, *Microcystis*, *Aulacoseira* melimpah di danau eutrofik pada musim panas, *Cyclotella* spp. dan *Aulacoseira subarctica* melimpah di danau mesotrofik pada musim semi, dan *Dinobryon*, *Uroglena*, *Gemmellicystis* dan *Sphaerocystis* melimpah di danau oligotrofik (Gökçe, 2016).

E. Pencatatan Hasil Identifikasi dan Pencacahan

Data plankton hasil identifikasi dan pencacahan dapat dicatat pada sebuah tabel struktur komunitas berdasarkan Metode Kennedy (Tabel 3.2). Pencatatan pada tabel tersebut dilakukan untuk memudahkan analisis pada tahapan selanjutnya.

3.2 Analisis Data

Informasi numerik dari komunitas organisme dalam suatu ekosistem sangat penting karena kekuatan numerik dan biomassa organisme akan memengaruhi fungsi ekosistem (Dash & Dash 2009). Ekosistem dan komunitas biotik di dalamnya bersifat dinamis yang dapat berubah seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari keanekaragaman komunitas-komunitas ini baik dalam skala ruang maupun waktu, untuk memahami perannya dalam perkembangan dan pemeliharaan stabilitas ekosistem. Penghitungan keanekaragaman hayati dan perbandingan keanekaragaman jenis di antara ekosistem yang berbeda akan mudah dilakukan dengan menghitung indeks keanekaragaman dan dominasi. Indeks ini dihitung berdasarkan proporsi sebagian untuk keseluruhan, yaitu n_i/N , dimana n_i adalah jumlah atau biomassa atau produktivitas setiap bagian atau setiap jenis dan N adalah nilai total untuk semua yang ada di dalam komunitas.

Tabel 3.2 Tabel Data Hasil Identifikasi dan Pencacahan Plankton Metode Kennedy

No.	Biota	Jenis	Gambar	Jumlah/Ulangan		
				1	2	3
1	Fitoplankton	A				
		B				
		C				
		D				
		E				
		F				
2	Zooplankton	a				
		b				
		c				
		d				
		e				
		f				

Berdasarkan kebutuhan, data hasil identifikasi dan pencacahan plankton selanjutnya dapat dianalisis untuk mengetahui berbagai informasi numerik seperti kelimpahan jenis, indeks keanekaragaman (*Diversity Index*), indeks dominansi (*Dominance Index*), indeks pemerataan (*Evenness Index*), indeks kesamaan (*Similarity Index*), dan indeks saprobik (*Saprobic Index*). Selain untuk melihat keanekaragaman hayati pada suatu ekosistem, analisis ini, terutama indeks saprobik, juga dapat digunakan untuk menilai kondisi lingkungan secara biologis. Hal ini berdasarkan konsep bahwa struktur komunitas plankton dapat digunakan untuk memperkirakan intensitas *stress* yang terjadi pada suatu lingkungan.

A. Kelimpahan Jenis Plankton

Kelimpahan jenis plankton dihitung berdasarkan persamaan menurut APHA (2017), sebagai berikut:

$$N = n \times \frac{1}{V_d} \times \frac{V_t}{V_s}$$

Dengan:

N = Kelimpahan plankton (sel/L atau individu/L)

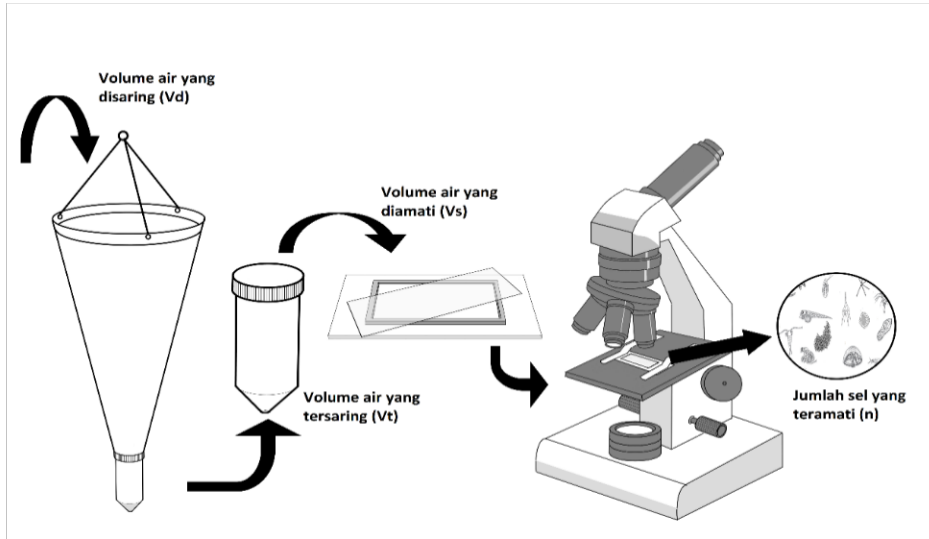
n = Jumlah sel/individu yang diamati

V_d = Volume air yang disaring (L)

V_t = Volume air yang tersaring (mL)

V_s = Volume air yang diamati dalam Sedgwick Rafter (mL)

Ilustrasi tahapan *subsampling* pada persamaan di atas, dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Tahapan *subsampling* sampel air hingga diperoleh jumlah sel yang teramati (n) di bawah mikroskop

B. Indeks Keanekaragaman (*Diversity Index*)

Indeks keanekaragaman yang relatif paling banyak digunakan adalah indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H) atau indeks diversitas Shannon atau indeks Shannon (Dash & Dash, 2009). Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener adalah ukuran keanekaragaman yang menggabungkan kekayaan jenis (jumlah jenis pada suatu komunitas) dan kelimpahan relatifnya. Nilai indeks Shannon-Wiener diperoleh dengan rumus berikut (Wilhm dan Dorris, 1968):

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$$

Dengan:

H' = Indeks Diversitas Shannon-Wiener

$P_i = n_i/N$

n_i = jumlah individu jenis ke-i

N = jumlah total individu

Keanekaragaman jenis berdasarkan indeks diversitas Shannon-Wiener ini dibagi ke dalam tiga kriteria yaitu:

$H' < 1$: keanekaragaman jenis rendah

$1 < H' < 3$: keanekaragaman jenis sedang

$H' > 3$: keanekaragaman jenis tinggi

Indeks diversitas Shannon-Wiener dapat digunakan untuk menilai kualitas perairan. Nilai yang diperoleh dapat digunakan menentukan tingkat pencemaran perairan tersebut. Kriteria kualitas air berdasarkan indeks diversitas Shannon-Wiener dalam Lee *et al.* (1978) dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kriteria Kualitas Air Berdasarkan indeks diversitas Shannon-Wiener (Lee *et al.*, 1978)

Indeks Keragaman	Kualitas
>2,0	Tidak tercemar
2,0-1,0	Tercemar ringan
1,5-1,0	Tercemar sedang
<1,0	Tercemar berat

C. Indeks Dominansi (*Dominance Index*)

Suatu perairan dapat didominasi oleh suatu jenis plankton tertentu. Indeks dominansi yang sering digunakan untuk mengetahui adanya dominansi jenis tertentu di perairan ialah indeks dominansi Simpson (D) (Dash & Dash, 2009) dengan rumus yang mengacu pada Odum (1996), yaitu:

$$D = \sum_{i=1}^n p_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$$

Dengan:

D = Indeks Dominansi Simpson

n_i = Jumlah individu jenis ke-1

N = Jumlah total individu

Indeks ini digunakan untuk mengetahui kompleksitas suatu komunitas. Nilai indeks dominansi Simpson berkisar antara 0-1. Nilai indeks dominansi maksimum untuk indeks Simpson adalah 1, yang didapat apabila hanya terdapat jenis tunggal.

D. Indeks Kemerataan (*Evenness Index*)

Kemerataan menunjukkan kelimpahan relatif dari suatu jenis dalam sebuah komunitas dan pola persebaran biota. Indeks kemerataan yang digunakan mengacu pada indeks kemerataan Pielou (1966), yaitu:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Dengan:

E = Indeks Kemerataan

H' = Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

S = jumlah jenis dalam komunitas

Nilai indeks kemerataan ini adalah antara 0-1. Apabila indeks kemerataan adalah 0 maka kemerataan jenis rendah, artinya dalam komunitas tersebut terdapat jenis yang dominan. Apabila indeks kemerataan adalah 1 maka kemerataan antar jenis relatif merata, dengan jumlah individu setiap jenis sama.

E. Indeks Kesamaan (*Similarity Index*)

Indeks kesamaan digunakan untuk mengetahui adanya perubahan diantara anggota komunitas plankton dengan membandingkan komunitas plankton dari dua komunitas yang diperkirakan berbeda. Untuk mengetahui indeks kesamaan jenis di dua komunitas yang berbeda dilakukan penghitungan dengan menggunakan indeks kesamaan jenis Sorensen (Magurran, 2004), yaitu:

$$S = \frac{2a}{2a + b + c}$$

Dengan:

S = Indeks Kesamaan Sorensen

a = jumlah jenis sama yang terdapat pada kedua habitat

b = jumlah jenis yang terdapat di habitat a tetapi tidak di habitat b

c = jumlah jenis yang terdapat di habitat b tetapi tidak di habitat a

Nilai indeks kesamaan Sorensen ini berkisar antara 0-1. Semakin besar nilai indeks kesamaan Sorensen, maka semakin seragam komposisi jenis di satu habitat dengan lainnya.

F. Indeks Saprobik (*Saprobic Index*)

Indeks saprobik merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengetahui status pencemaran pada perairan dengan menggunakan keberadaan plankton. Penggunaan plankton dalam metode karena memiliki peran penting dalam memengaruhi produktivitas primer suatu perairan. Kelompok plankton yang digunakan adalah kelompok plankton yang dominan di suatu perairan (Fachrul, 2007). Berdasarkan Dresscher dan Mark (1976) indeks saprobik dirumuskan sebagai berikut:

$$IS = \frac{C + 3D + B - 3A}{A + B + C + D}$$

Dengan:

Fitoplankton	Zooplankton
IS Indeks Saprobik	Indeks Saprobik
A Kelompok organisme Cyanophyta	Kelompok organisme Ciliata
B Kelompok organisme Dinophyta	Kelompok organisme Euglena
C Kelompok organisme Chlorophyta	Kelompok organisme Chlorococcales dan Diatom
D Kelompok organisme Chrysophyta	Kelompok organisme Peridinae, Chrysophyceae, dan Conjugaceae

A, B, C, dan D = jumlah organisme dalam masing-masing kelompok

Kelompok plankton yang digunakan dapat memperlihatkan tingkat pencemaran dan fase saprobik suatu perairan. Hubungan antara nilai indeks saprobik dengan tingkat pencemaran perairan dapat dilihat pada Tabel 3.4(Dahuri ,1997).

Tabel 3.4 Hubungan Antara Indeks Saprobik dengan Tingkat Pencemaran Perairan (Dahuri, 1997)

Bahan Pencemar	Tingkat Pencemaran	Fase Saprobik	Koefisien Saprobik (x)
Banyak Senyawa Organik	Sangat Berat	Polisaprobik	-3,0 s/d -2,0
		Poli/ α – Mesosaprobik	-2,0 s/d -1,5
	Cukup Berat	α – Meso/ polisaprobik	-1,5 s/d -1,0
		α – Mesosaprobik	-1,0 s/d -0,5
Senyawa Organik+Anorganik	Sedang	α/ β - Mesosaprobik	-0,5 s/d 0,0
		β/ α - Mesosaprobik	0,0 s/d +0,5
	Ringan	β - Mesosaprobik	+0,5 s/d +1,0
		β - Meso/oligosaprobik	+1,0 s/d +1,5
Sedikit Senyawa Organik+Anorganik	Sangat ringan	Oligo/ β - Mesosaprobik	+1,5 s/d +2,0
		Oligo/saprobik	+2,0 s/d +3,0

Penghitungan kelimpahan jenis, indeks keanekaragaman Shannon Wiener (H), indeks Dominansi Simpson (D), dan Indeks Kemerataan (E) dapat dihitung secara mudah dengan menggunakan *software* Microsoft Excel. Contoh tabel data dan penghitungan yang dilakukan dengan menggunakan MS. Excel dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Contoh Tabel Data dan Penghitungan Kelimpahan Jenis Plankton pada MS. Excel

No	Jenis	Kelimpahan (individu/L)		
		STASIUN		
		I	II	III
1				
2				
3				
4				
5				
Total				
S				

} Jumlah jenis pada setiap stasiun
} Jumlah individu pada setiap stasiun

Catatan: Jumlah individu dari setiap jenis merupakan hasil penghitungan rata-rata pada setiap stasiun.

Tabel 3.6 Contoh Tabel Data dan Penghitungan Indeks Keaneekaragaman (H), Indeks Dominansi (D), dan Indeks Kemerataan (E) pada MS. Excel

No	Jenis	Stasiun				
		Perhitungan Indeks Keaneekaragaman (H')		Perhitungan Indeks Dominansi (D)		Perhitungan Indeks Kemerataan (E)
		ni/N	ln (ni/N)	(ni/N) ln (ni/N)	(ni/N) ²	((ni/N) ln (ni/N))/ ln S
1						
2						
3						
4						
5						
Jumlah						
H'				$H' = - \sum$ Jumlah ↑		
D						
E						

3.3 Contoh Analisis Plankton

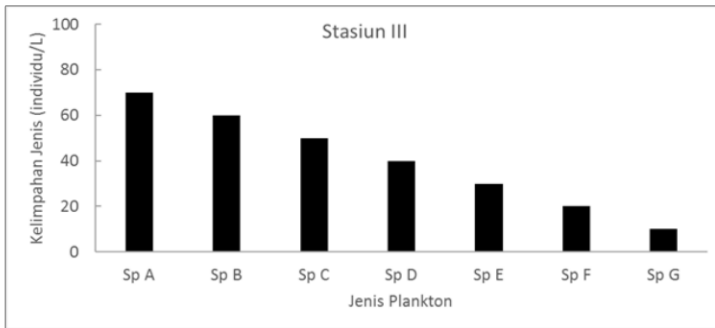
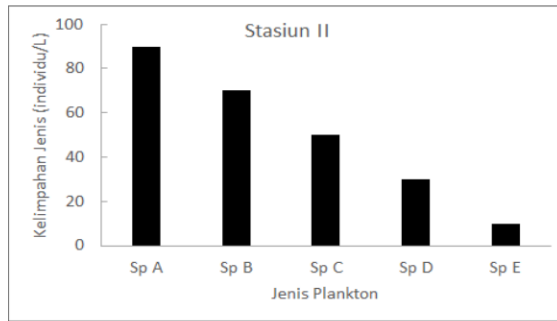
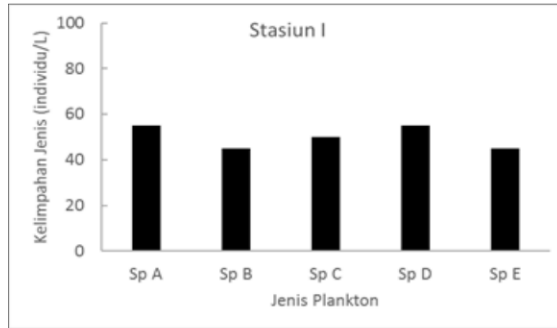
Contoh hasil pencacahan kelimpahan jenis plankton pada tiga stasiun pengamatan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 3.7. Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa kelimpahan setiap jenis plankton cenderung bervariasi pada masing-masing stasiun. Selain itu terdapat jenis plankton yang hanya ditemukan pada satu stasiun saja atau jenis plankton yang ditemukan pada semua stasiun.

Apabila data kelimpahan jenis plankton setiap stasiun pada Tabel 3.7 diplotkan dalam sebuah grafik, maka akan diperoleh pola seperti pada Gambar 3.17. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa grafik dari Stasiun I dan II menunjukkan pola yang berbeda walaupun memiliki jumlah total individu dan jenis yang sama (Tabel 3.7). Hal ini disebabkan oleh kelimpahan jenis pada komunitas plankton dari masing-masing stasiun yang berbeda. Dengan demikian, untuk melihat bagaimana derajat keaneekaragaman jenis dari komunitas plankton pada masing-masing stasiun tersebut, selanjutnya dapat dihitung indeks keaneekaragaman, indeks dominansi, dan indeks

kemerataan dari data kelimpahan jenis yang telah diperoleh. Nilai indeks tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.7 Contoh Hasil Analisis Kelimpahan Jenis Plankton

No	Jenis	Kelimpahan Jenis Plankton (individu/L)		
		STASIUN		
		I	II	III
1	Jenis A	55	90	70
2	Jenis B	45	70	60
3	Jenis C	50	50	50
4	Jenis D	55	30	40
5	Jenis E	45	10	30
6	Jenis F	-	-	20
7	Jenis G	-	-	10
Jumlah Total Individu (N)		250	250	280
Jumlah Jenis (S)		5	5	7



Gambar 3.17 Kelimpahan jenis plankton pada Stasiun I, II, dan III

Tabel 3.8 Nilai Indeks Keanekaragaman, Indeks Dominansi, dan Indeks Kemerataan pada Masing-masing Stasiun

Nilai	STASIUN		
	I	II	III
Indeks Keanekaragaman (H')	1,60	1,43	1,81
Indeks Dominansi (D)	0,20	0,26	0,18
Indeks Kemerataan (E)	0,99	0,88	0,92

Berdasarkan Tabel 3.8, dapat diinterpretasikan bahwa:

- Walaupun sama-sama termasuk ke dalam kriteria komunitas dengan keanekaragaman jenis sedang, komunitas plankton pada Stasiun I lebih beragam dibandingkan dengan komunitas plankton pada Stasiun II walaupun kedua komunitas tersebut memiliki jumlah total individu dan jumlah jenis yang sama. Lebih lanjut, indeks keanekaragaman plankton meningkat seiring dengan adanya peningkatan jumlah jenis dan jumlah individu seperti komunitas plankton pada Stasiun III.
- Komunitas plankton pada Stasiun I memiliki nilai pemerataan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komunitas plankton pada Stasiun II. Hal ini disebabkan oleh kelimpahan individu setiap jenis pada komunitas plankton di Stasiun I yang relatif homogen. Sebaliknya, nilai pemerataan yang lebih rendah pada komunitas plankton dari Stasiun II menunjukkan adanya jenis yang dominan pada komunitas tersebut, yaitu jenis A.
- Komunitas dengan keanekaragaman dan pemerataan yang tinggi disertai tidak adanya dominansi jenis umumnya memiliki stabilitas ekosistem yang lebih tinggi.

Selanjutnya, bila dihubungkan dengan kriteria kualitas air berdasarkan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (Tabel 3.3), masing-masing stasiun termasuk perairan dengan kualitas tercemar ringan atau sedang.

Daftar Pustaka

- APHA. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 23rd Edition*. AWWA/ WEF. Washington.
- AWRI. 2020. *Water Sampling*. <https://www.gvsu.edu/wri/education/instructors-manual-water-sampling-3.htm#:~:text=The%20Kemmerer%20sampler%20is%20generally,depths%20at%20the%20same%20time> (diakses pada 22 Oktober 2020).
- Baban, S. M. J. 1996. Trophic classification and ecosystem checking of lakes using remotely sensed information. *Hydrological Science Journal*. 41 (6): 939 – 957.
- Bathmann, U dan Marine Zooplankton Colloquium 2. 2001. Future Marine Zooplankton research - a Perspective. *Marine Ecology Progress Series*. 222: 297-308.
- Bellinger, E. G. dan D. C. Sigeo. 2015. *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators 2nd Edition*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- Bilotta, G. S. dan R. E. Brazier. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42: 2849-2861.
- Bishop, E. 2014. A kayak-based survey protocol for bull kelp in Puget Sound. *NOAA Hollings Scholar*.
- Britton, L. J. dan P. E. Greeson (Ed.). 1987. *Methods for Collection and Analysis of Aquatic Biological and Microbiological Samples*. USGS. Virginia.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22 (2): 361 - 369.
- Carlson, R. E. dan J. Simpson. 1996. *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society.
- Castro, P. dan M. E. Huber. 2019. *Marine Biology Eleventh Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Coleparmer. 2009. *Wildco 40a50 Wisconsin Plankton Net Sampler with Case*. <https://www.coleparmer.com/i/wildco-40-a50-wisconsin-plankton-net-sampler-with-case/0549100?searchterm=Wildco%2040-A50%20Wisconsin%20Plankton%20net%20sampler%20with%20case#eb-item-specification> (diakses pada 13 Mei 2020).
- CPRSurvey. 2020. *The Continuous Plankton Recorder*. <https://www.cprsurvey.org/services/the-continuous-plankton-recorder/> (diakses 13 Mei 2020).
- Dahuri, R. 1995. *Metode dan Pengukuran Kualitas Air Aspek Biologi*. IPB. Bogor.
- Dash, M. C. dan S. P. Dash. 2009. *Fundamentals of Ecology Third Edition*. The McGraw-Hill Companies. New Delhi.
- Dresscher dan van der Mark. 1979. A simplified method for the biological assessment of the quality of fresh and slightly brackish water. *Journal Hydrobiologia*. 48 (3): 199-201.
- Ducklow, H. W. dan F. Shiah. 1993. *Bacterial Production in Estuaries in Aquatic Microbiology: An Ecological Approach*. Blackwell Scientific Publications. Cambridge.
- Duxbury, A. B. dan A. C. Duxbury. 1999. *Fundamentals of Oceanography Third Edition*. McGraw-Hill. Boston.

- Edmondson, W. T. 1959. *Freshwater Biology*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Eijkelkamp. 2020. *Kemmerer Water Sampler, Set*. <https://en.eijkelkamp.com/products/sediment-samplers/kemmerer-water-sampler.html> (diakses pada 22 Oktober 2020).
- Envcoglobal. 2020. *Birge Closing Net*. <http://www.envcoglobal.com/catalog/water/limnology/plankton-equipment/plankton-nets/birge-closing-net> (diakses pada 13 Mei 2020).
- Envcoglobal. 2020. *Turtox Plankton Tow Net Bottle*. <http://www.envcoglobal.com/catalog/water/limnology/plankton-equipment/plankton-nets/turtox-plankton-tow-net-bottle> (diakses pada 13 Mei 2020).
- Fachrul, M. F. 2007. *Metode Sampling Bioekologi*. PT. Bumi Aksara. Jakarta.
- Fardiaz. 1992. *Mikrobiologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Garno, Y. S. 2002. Beban pencemaran limbah perikanan budidaya dan eutrofikasi di perairan waduk pada DAS Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 3 (2): 112-120.
- Gökçe, D. 2016. *Algae as an Indicator of Water Quality - Organisms for Imminent Biotechnology*. *Intech Open*. from: <https://www.intechopen.com/books/algae-organisms-for-imminent-biotechnology/algae-as-an-indicator-of-water-quality> (diakses pada 28 Maret 2020).
- Goswami, S. C. (Retd.). 2004. *Zooplankton Methodology, Collection & Identification – a field Manual*. National Institute of Oceanography. New Delhi.
- Guillard, R. R. L. 1973. Division Rates dalam J. R. Stein (ed.) *Handbook of Phycological Methods: Culture Methods and Growth Treatment*. University Press. Cambridge.
- Guillard, R. R. L. 1978. Dalam A. Sournia (ed.) *Phytoplankton Manual-Monographs on Oceanographic Methodology*. UNESCO. Paris.
- Hallegraeff G. M., D. M. Anderson, dan A. D. Cembella. 2004. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. UNESCO. Paris.
- Hardiyanto, R., S. Henben, dan I.P. Rusky. 2012. Kajian produktivitas primer fitoplankton di Waduk Saguling, Desa Bongas dalam kaitannya dengan kegiatan perikanan. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3 (4): 1238-1249.
- Hariyadi S., I. N. N. Suryadiputra, dan B. Widigdo. 1992. *Limnologi: Metoda Analisa Kualitas Air*. Fakultas Perikanan IPB. Bogor.
- Hasler, A.D. 1947. Eutrophication of lakes by domestic drainage. *Ecological Society of America*. 28 (4): 383 – 395.
- Hausser Scientific. 2011. *Petroff Hausser Counter*. http://hauserscientific.com/products/petroff_hausser_counter.html (diakses pada 28 Maret 2020).
- Hoepffner, N. dan G. Zibordi. 2008. *Remote Sensing of Coastal Waters In Encyclopedia of Ocean Sciences (Second Edition)*. Academic Press. Cambridge.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. *Teknik Kultur Fitoplankton dan Zooplankton*. Kanisius. Yogyakarta.

- Jakhar, P. 2013. Role of Phytoplankton and Zooplankton as Health Indicators of Aquatic Ecosystem: A Review. *International Journal of Innovative Research and Studies*. 2 (12): 490.
- Jena, A. K., P. Biswas, S. S. Pattanaik, dan A. Panda. 2017. An Introduction to Freshwater Planktons and their role in Aquaculture. *Aquaculture Times*. 3(2): 10.
- Joune, F., I. Probert, dan D. Vault. 2008. Plankton taxonomy in the computer age. *Cahiers de Biologie Marine*. 49 (4): 356.
- Kawat, N. D. 1976. *A Textbook of Algae (for B.Sc Student), 1st edition*. S. Chand & Company Ltd. New Delhi.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Kunarso, D. H. dan T. I. Agustin. 2012. Kajian bakteri heterotropik di Perarian Laut Lamalera. *Ilmu Kelautan*. 17 (2): 63-73.
- Langford, R. R. 1953. Methods of plankton collection and a description of a new sampler. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 10: 238-252.
- Lee, C.D., S. B. Wang, dan C. L. Kuo. 1978. *Benthic Macroinvertebrate and Fish as Biological Indicators of Water Quality, with Reference to Community Diversity Index*. Pergamon Press. New York.
- LeGresley, M. dan G. McDermott. 2010. *Microscopic and Molecular Methods For Quantitative Phytoplankton Analysis*. Book Chapter 4 Counting chamber methods - Haemocytometer, Palmer-Maloney cell and Sedgwick-Rafter cell. UNESCO Publishing. Spain.
- Lestari, P. B. dan T. W. Hartati. 2017. *Mikrobiologi Berbasis Inkuiri*. Gunung Samudera. Malang.
- Lihawa, F. 2017. *Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi, dan Longsor*. Deepublish. Yogyakarta.
- Lund. J. W. G., C. Kilpling, dan E. D. Le Cren. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers, and the statistical basis of estimation by counting. *Journal Hydrobiologia*. 11 (2): 143-170.
- Macneill, S., M. Pryor, C. Couturier, dan J. Parsons. 2001. *Handbook of Mussel Farm Site Monitoring Enhancing Seed Production*. Newfoundland Aquaculture Industry Association. St. John's.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Malden.
- Marsden, J. 1991. Standard Protocols for Monitoring and Sampling Zebra Mussels. *Aquatic Ecology Technical Report*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- McAlice, B. J. 1971. Phytoplankton sampling with the Sedgwick Rafter cell. *Limnology and Oceanography*. 16: 19-28.
- Moore, S. K., M. E. Baird, dan I. M. Suthers, 2006. Relative effects of physical and biological processes on nutrient and phytoplankton dynamics in a shallow estuary after a storm event. *Estuaries and Coasts*. 29: 81-95.
- Mukhtasar. 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Nepal, S., A. Pandey, A. B. Shrestha, dan A. Mukherji. 2018. Revisiting Key Questions Regarding Upstream-Downstream and Water Management in the Hindu Kush Himalaya (HKH) Region. *HI-AWARE Working Paper 21*. Kathmandu.
- Nirmalasari, K. P., M. Lukitasari, dan J. Widiyanto. 2014. Pengaruh intensitas musim hujan terhadap kelimpahan fitoplankton di Waduk Bening Saradan. *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*. 2 (1).

- NOAA Ocean Explorer. 2006. *Ocean Zones*. <http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/curriculum/section5.pdf> (diakses pada 04 April 2020).
- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologi*. Penerjemah: Eidman H. M., Koesoebiono, D. G. Bengen, M. Hutomo, dan S. Sukardjo. Gramedia. Jakarta.
- Odum, E. P. 1996. *Dasar-dasar Ekologi*. Penerjemah: Samingan T., B. Srigandono. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ohio EPA. 2012. *Inland Lakes Sampling Procedure Manual*. Ohio EPA, Division of Surface Water. Ohio.
- Peters, R. H. 1983. *The Ecological Implications of Body Size*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Pielou, E. C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*. 13: 131-144.
- Prescott, G. W., J. Bamrick, dan E. T. Cawley. 1978. *How to Know the Freshwater Algae, 3rd Edition*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math. New York.
- Rachman, A. 2011. Peranan zooplankton dalam mengontrol fenomena harmful algal blooms. *Oseana*. 36 (3): 47-57.
- RealTech. 2018. Biochemical Oxygen Demand (BOD). <https://realtechwater.com/parameters/biochemical-oxygen-demand/> (diakses pada 06 Maret 2020).
- Reid, G. K. 2011. *Ecology of Inland Waters and Estuaries 5th Edition*. Literary Licensing. Montana.
- Rich, V. I. dan R. M. Maier. 2015. *Aquatic Environments: in Environmental Microbiology (Third Edition)*. Academic Press. Cambridge.
- Rinawati., D. Hidayat, R. Suprianto, dan P. S. Dewi. 2016. Penentuan kandungan zat padat (total dissolve solid dan total suspended solid) di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 1 (1).
- Sieburth J. McN, V. Smetacek, dan J. Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*. 23: 1256-1263.
- Singh, U. B., A. S. Ahluwalia, C. Sharma, R. Jindal, dan R. K. Thakur. 2013. Planktonic indicators: A promising tool for monitoring water quality (early-warning signals). *Ecology, Environment and Conservation*. 19 (3): 795-796.
- Smith, P. E., R. C. Counts, dan R. I. Clutter. 1968. Changes in filtering efficiency of plankton nets due to clogging under tow. *Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. 32 (2): 232-248.
- Student. 1907. On the error of counting with a Haemocytometer. *Biometrika*. 5 (3): 351-360.
- Suthers, I. M. dan D. Rissik (Ed). 2008. *Plankton: a Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality*. CSIRO Publishing. Victoria.
- Thorp, J. P. dan A. P. Covich. 2001. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, 2nd edition*. Academic Press. New York.
- Varghese, M., V. J. Thomas dan V. Susan. 2015. *Collection and estimation of zooplankton. Teaching Resources*. Central Marine Fisheries Research Institute. Kochi.
- Venrick, E. L. 1978. *Chapter 5: Concentrating Phytoplankton. Phytoplankton Manual*. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. Paris.

- Weber-Scannell, P. K. dan L. K. Duffy. 2007. Effect of total dissolved solids on aquatic organisms: a review of literature and recommendation for salmonid species. *American Journal of Environmental Sciences* 3: 1-6.
- Wehr, J. D., R. G. Sheath, dan J. P. Kociolek. 2015. *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*, Second Edition. Academic Press. London.
- Wilhm, J. L. dan T. C. Dorris. 1968. Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience*. 18: 477-481.
- Wood, E. J. F. 1956. Fluorescent Microscopy in Marine Microbiology. *Journal du Conseil /Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. 21: 6-7.

Lampiran

Lampiran 1 Beberapa Contoh Fitoplankton

a. Daftar Fitoplankton yang Umum Ditemukan di Sepanjang Aliran Sungai Citarum

No.	Marga	Suku	Kelas
1	<i>Amphora</i> *	Catenulaceae	Bacillariophyceae
2	<i>Anomoeoneis</i>	Anomoeoneidaceae	Bacillariophyceae
3	<i>Cocconeis</i>	Cocconeidaceae	Bacillariophyceae
4	<i>Fragilaria</i> *	Flagilariaceae	Bacillariophyceae
5	<i>Gyrosigma</i>	Pleurosigmataceae	Bacillariophyceae
6	<i>Melosira</i>	Melosiraceae	Bacillariophyceae
7	<i>Navicula</i>	Naviculaceae	Bacillariophyceae
8	<i>Nitzschia</i>	Bacillariaceae	Bacillariophyceae
9	<i>Pinnularia</i> *	Pinnulariaceae	Bacillariophyceae
10	<i>Surirella</i>	Surirellaceae	Bacillariophyceae
11	<i>Synedra</i>	Flagilariaceae	Bacillariophyceae
12	<i>Chlamydomonas</i>	Chlamydomodaceae	Chlorophyceae
13	<i>Coelastrum</i>	Scenedesmaceae	Chlorophyceae
14	<i>Pediastrum</i> *	Hydrodictyaceae	Chlorophyceae
15	<i>Scenedesmus</i> *	Scenedesmaceae	Chlorophyceae
16	<i>Closterium</i>	Closteriaceae	Conjugatophyceae
17	<i>Oscillatoria</i>	Oscillatoriaceae	Cyanophyceae
18	<i>Spirulina</i>	Pseudoanabaenaceae	Cyanophyceae
19	<i>Euglena</i>	Euglenaceae	Euglenoidea
20	<i>Phacus</i> *	Phacaceae	Euglenoidea
21	<i>Tribonema</i>	Tribonemataceae	Xantophyceae

Keterangan: *) umumnya ditemukan di seluruh titik pengamatan

b. Daftar Fitoplankton yang Umum Ditemukan di Sepanjang Aliran Sungai Cikapundung

No.	Marga	Suku	Kelas
1	<i>Navicula</i>	Naviculaceae	Bacillariophyceae
2	<i>Nitzschia</i>	Bacillariaceae	Bacillariophyceae
3	<i>Chaetophora</i>	Chaetophoraceae	Chlorophyceae
4	<i>Spirogyra</i>	Zygnemataceae	Conjugatophyceae
5	<i>Phormidium</i>	Phormidiaceae	Cyanophyceae
6	<i>Lemanea</i>	Lemaneaceae	Florideophyceae

Lampiran 2 Beberapa Contoh Zooplankton

a. Daftar Zooplankton yang Umum Ditemukan di Sepanjang Aliran Sungai Citarum

No.	Marga	Suku	Kelas
1	<i>Monostyla</i>	Lecanetidae	Eurotatoria
2	<i>Notholca</i>	Brachionidae	Eurotatoria
3	<i>Euglypha*</i>	Euglyphidae	Imbricatea
4	<i>Arcella*</i>	Arcellidae	Tubulinea
5	<i>Centropyxis</i>	Centropyxidae	Tubulinea
6	<i>Diffflugia</i>	Diffflugidae	Tubulinea

Keterangan: *) biasanya ditemukan di seluruh titik pengamatan

b. Daftar Zooplankton yang Umum Ditemukan dalam Jumlah Dominan pada Beberapa Titik Pengamatan di Sungai Cikapundung

No.	Jenis	Suku	Kelas
1	<i>Rhabdolaimus</i>	Rhabdolaminidae	Adenophorea
2	<i>Epistylis</i>	Epistylidae	Oligohymenophorea
3	<i>Vorticella</i>	Vorticillidae	Oligohymenophorea
4	<i>Chilodonella</i>	Chilodonellidae	Phyllopharyngea
5	<i>Chaos</i>	Porphyridiaceae	Porphyridiophyceae
6	<i>Arcella</i>	Arcellidae	Tubulinea

Lampiran 3 Dokumentasi Kegiatan di Lapangan



Ucapan Terimakasih

Dalam penyusunan buku ini, ucapan terima kasih disampaikan kepada guru Kami Bapak Drs. Ade Pandi, MS. Terima kasih juga Kami sampaikan kepada Pak Aep Saepudin atas sharing pengalaman praktisnya dalam pengambilan dan pencacahan sampel plankton serta pengambilan data plankton untuk melengkapi ilustrasi dalam buku ini. Terima kasih kepada Jerry Herdiana yang telah membantu dalam pengambilan sampel plankton di lapangan. Terima kasih juga Kami sampaikan kepada anggota tim peneliti dan penulis yaitu Reny Adiarni Nurhayati, S.Si, MT, Bella Safitri, S.Si, dan Fariha Luthfiani, S.Si. Tak lupa Kami sampaikan ucapan terima kasih kepada Pusat Unggulan Lingkungan dan Ilmu Keberlanjutan (PULIK) atau *Center for Environment and Sustainability Science (CESS)* yang telah memberikan kesempatan dan berbagai dukungan baik fasilitas maupun dana bagi Kami untuk dapat menuliskan dan menerbitkan buku ini.

Metode Pengambilan dan Analisis PLANKTON

Ekosistem perairan merupakan ekosistem dengan air sebagai medium dominan yang ditempati oleh organisme di ekosistem tersebut. Keberadaan dan sifat perairan seperti kandungan nutrisi yang ditunjukkan dengan tingkatan trofik menjadi penentu kehidupan organisme perairan seperti plankton. Plankton merupakan organisme yang penting dalam ekosistem perairan karena merupakan sumber makanan paling bawah dalam rantai makanan, sekaligus dapat menjadi indikator kualitas perairan. Dengan demikian, analisis plankton penting untuk dilakukan.

Dr. Keukeu Kaniawati Rosada, M.Si.

Lahir di Bandung, 19 Oktober 1975. Lulus Sarjana dan Magister Biologi FMIPA ITB tahun 1999 dan 2003 dalam bidang Mikrobiologi, dan lulus Doktor Biologi SITH ITB tahun 2016 dalam Bidang Mikrobiologi dan Ekologi Perairan. Riset yang dilakukan ialah pada kajian di bidang Mikrobiologi dan Ekologi Perairan terutama meliputi permasalahan pencemaran dan dampaknya terhadap keanekaragaman hayati serta rekayasa pemulihannya. Sejak tahun 2008 hingga saat ini, bekerja sebagai staf pengajar di Prodi Sarjana dan Magister Biologi FMIPA Unpad dan sebagai peneliti di Pusat Unggulan Lingkungan dan Ilmu Keberlanjutan (PULIK) atau Centre for Environment and Sustainability Science (CESS).



Sunardi, M.Si., Ph.D.

Lahir di Sukoharjo, 30 Mei 1969. Lulus Sarjana Biologi FMIPA Unpad tahun 1993, Magister Biologi FMIPA ITB tahun 1998 dan lulus Doktor di bidang Science and Engineering Saitama University tahun 2005. Mendalami riset tentang ekologi perairan, sejak tahun 1999 mengajar di Program Studi Biologi FMIPA dan saat ini menjabat sebagai Ketua Program Studi Magister dan Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Padjadjaran. Peneliti aktif di Pusat Unggulan Lingkungan dan Ilmu Keberlanjutan (PULIK) atau Centre for Environment and Sustainability Science (CESS).

