

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perairan Waduk Secara Umum

Waduk adalah wilayah yang digenangi air sepanjang tahun serta dibentuk dan dibangun atas rekayasa manusia (Jangkaru, 1995). Menurut Miller (1991) waduk pada umumnya luas dan dalam. Umumnya waduk dibangun untuk menyimpan dan mengalirkan air dengan menggunakan sistem kontrol artinya ada pengaturan air yang masuk dan keluar waduk. Air waduk yang ada digunakan untuk perikanan, energi listrik, irigasi, proyek air minum dan rekreasi (Miller, 1991).

Danau atau waduk berfungsi sebagai “perangkap” alam yang menampung unsur hara, benda-benda tersuspensi dan bahan kimia toksik pada dasar sedimen (Miller, 1991). “Recovery” atau perbaruan air pada waduk dapat terbentuk dalam satu hingga ratusan tahun (Miller, 1991) berbeda dengan sungai. Sungai mempunyai aliran air dengan waktu tinggal sebentar yaitu dalam hitungan hari atau minggu (Hadihardjaya, 1988).

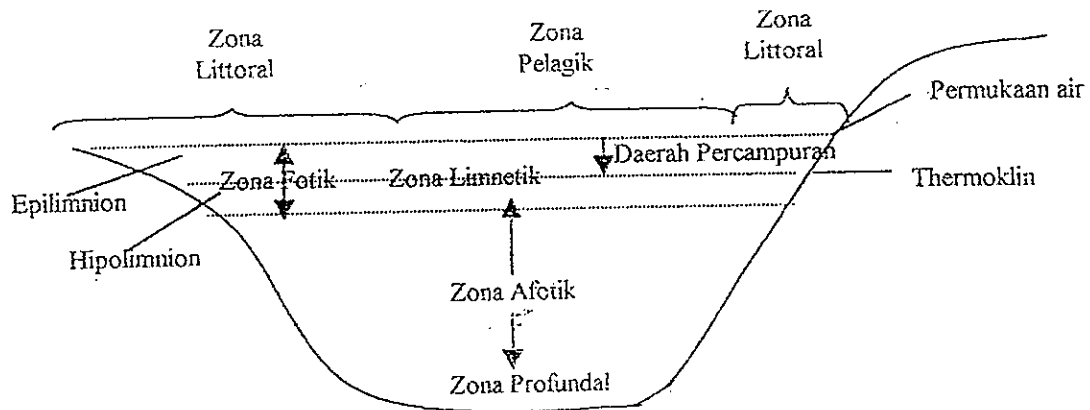
Waduk yang dibangun di dataran tinggi atau hulu sungai mempunyai bentuk menjeri, relatif sempit dan bertebing curam serta dalam, sedangkan waduk yang dibangun di dataran rendah atau hilir sungai mempunyai bentuk luas dan badan air relatif dangkal (Jangkaru, 1996).

Waduk merupakan bagian dari ekosistem lentik, dapat dibedakan kedalam strata vertikal dan horisontal. Secara horisontal yaitu bagian permukaan yang dekat dengan daratan disebut dengan *zona littoral* dan bagian tengah disebut *zona pelagik* dan secara vertikal waduk dibagi atas *zona littoral*, *limnetik* dan *profundal* (Smith, 1990). Waduk yang dekat dengan hilir sungai akan mempunyai produktivitas yang

lebih tinggi karena masuknya bahan nutrien dari sungai yang langsung dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton. Waduk bagian tengah biasanya mempunyai daerah yang luas dan dalam sehingga bahan-bahan yang berasal dari sungai tidak dapat digunakan secara efektif artinya bahan-bahan yang masuk tersebut banyak yang terendapkan dalam sedimen (Smith, 1990).

Lebih rinci Camp *et al* (1991) menyatakan bahwa secara vertikal waduk atau danau dibedakan atas *zona littoral* yaitu zona dangkal yang terdapat akar-akar tanaman. Fotosintesis dapat berlangsung di zona ini karena adanya sinar matahari. Organisme yang penting di tempat ini adalah plankton. *Zona limnetik* yaitu zona air terbuka sampai kedalaman yang masih dapat ditembus oleh cahaya. Fotosintesis masih ada hingga dasar zona limnetik. Di sini biasanya terdapat kemelimpahan fitoplankton yang mensuplai oksigen pada zona ini. Dan yang terakhir adalah *zona profundal* yang merupakan dasar suatu danau. Sejak sinar matahari tidak dapat menembus zona ini maka tidak ada fotosintesis di sini. Zona profundal lebih hangat di musim dingin dan lebih dingin di musim panas. Bakteri merupakan organisme yang hadir di zona ini dan mendekomposisi sampah yang dikirim dari zona di atasnya.

Waduk atau danau dapat pula dibagi dalam beberapa zona berdasarkan adanya stratifikasi thermal, yaitu ; *lapisan epilimnion* yang terdapat di atas dan biasanya hangat, *hipolimnion*, lapisan yang lebih dingin dan *metalimnion* yang merupakan zona transisi atau disebut juga lapisan termoklin karena temperatur menurun secara mendadak sesuai dengan kedalaman (Mc. Naughton and Wolf, 1990). Untuk lebih jelasnya, skema waduk atau danau dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 01. Zonasi waduk atau danau (Goldman and Horne, 1983).

Dengan dibendungnya sungai menjadi waduk maka akan terjadi perubahan kimia, fisika maupun biologi pada ekosistem waduk. Perubahan fisik yang terjadi akibat pembendungan sungai menjadi waduk adalah terbentuknya stratifikasi thermal. Sungai yang semula turbulen dan isothermal diubah menjadi badan air genangan yang terstratifikasi akibat perubahan kerapatan air karena perbedaan temperatur air. Air di bagian dasar lebih dingin dan lebih tinggi kerapatannya dibandingkan dengan air permukaan yang lebih panas dan lebih kecil kerapatannya. Stratifikasi dan stabilisasi thermal suatu waduk tergantung pada iklim, ketinggian dan morfometri daerah aliran sungai (Hadihardjaya, 1988). Juga terjadi perubahan massa air yaitu massa air akan lebih hangat atau dingin, lebih berwarna atau tidak, lebih keruh atau jernih dan kandungan gas dalam massa air juga berubah dengan cepat (Kuzin, 1974).

Perubahan kimia yang terjadi akibat pembendungan sungai menjadi waduk adalah terjadinya perubahan fotokimia dari energi sinar matahari menjadi molekul organik yang kaya energi melalui fotosintesis yang dilakukan fitoplankton. Selain itu

perubahan kualitas air dapat diakibatkan masuknya senyawa maupun unsur toksik ke dalam waduk. Juga waktu tinggal unsur-unsur hara dan unsur kimia tersebut dalam waduk merupakan proses penggantian air waduk. Waktu tinggal adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan waduk dalam menerima masukan air dari luar sebesar volumenya (Hadihardjaya, 1988). Waktu tinggal air berbeda-beda sepanjang tahun tergantung musim. "Recovery" air atau pembaruan air juga terjadi dalam waduk dalam hitungan satu hingga ratusan tahun (Miller, 1991).

Selama musim penghujan masukan bahan tersuspensi dan zat-zat yang berasosiasi dengan sedimen akan cepat keluar dari waduk. Pada musim kemarau masukan zat hara dan unsur kimia dari sungai atau sumber lain akan tinggal cukup lama dalam waduk. Perubahan massa air dalam waduk tidak hanya secara meteorologikal tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan luar yaitu kekuatan dan arah angin serta temperatur udara. Jadi angin pada waduk membentuk aliran gelombang dan fluktuasi aliran masuk dan aliran keluar pada massa air juga ikut berpengaruh (Kuzin, 1974).

B. Plankton

Plankton adalah organisme mengapung yang gerakannya tergantung pada arus (Odum, 1993). Menurut Reynolds (1980) plankton ditemukan terapung di permukaan air, dasar kolam dan melayang-layang dalam permukaan perairan. Nybakken (1992) menyatakan bahwa kemampuan berenang organisme planktonik demikian lemah sehingga sangat dikuasai oleh gerakan-gerakan air.

Odum (1993) menyatakan bahwa plankton adalah organisme penting dan besar pengaruhnya terhadap kehidupan di suatu perairan. Hal ini karena plankton merupakan makanan utama hewan-hewan air yang lebih tinggi tingkatannya.

Kesuburan suatu perairan dapat dikaitkan dengan banyak sedikitnya plankton baik yang bersifat nabati (fitoplankton) dan hewani (zooplankton) mengingat organisme ini berada pada dasar suatu rantai makanan di perairan. Fitoplankton mampu membentuk material organik dari unsur-unsur anorganik dalam proses fotosintesis.

Organisme planktonik biasanya ditangkap dengan menggunakan jaring dengan ukuran mata jaring yang berbeda sehingga Nybakken (1992) menggolongkan plankton dalam lima golongan berdasarkan ukuran selnya tanpa membedakan zooplankton atau fitoplankton yaitu :

- ultraplankton < 2 mikron
- nanoplankton 2-20 mikron
- mikroplankton 20-200 mikron
- makroplankton 200-2000 mikron
- megaplankton > 2000 mikron

Menurut Nybakken (1992) dilihat dari siklus hidupnya plankton dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu holoplankton yang seluruh hidupnya bersifat sebagai plankton dan meroplankton yang hanya sebagian daur hidupnya bersifat planktonik.

C. Fitoplankton

Fitoplankton merupakan tumbuhan tingkat rendah yang paling banyak dijumpai pada perairan. Fitoplankton terutama terdiri dari alga dan ditemukan hanya pada kedalaman tertentu yang menerima sinar matahari yang cukup untuk fotosintesis (Michael, 1994).

Beberapa fitoplankton yang biasa dijumpai di perairan tawar adalah Chlorophyta, Cyanophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta dan Euglenophyta (Prescod,

1976). Chlorophyta mempunyai ciri-ciri karakteristik yaitu selnya tunggal atau koloni, mempunyai flagella atau tidak, mempunyai kemampuan bergerak dalam mempertahankan posisi vertikal dalam air, mengandung pigmen klorofil a dan b, karoten, dan xanthofil (Prescod, 1970).

Chrysophyta biasanya disebut juga diatom, mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi, bersel tunggal dapat menghasilkan sekret dalam "cangkangnya" yang mengandung silika. Selnya transparan dan terdiri dari dua bagian yang disebut frustula. Dapat bermigrasi naik dan turun. Pergerakan ini adalah respon terhadap cahaya (Payne, 1986).

Cyanophyta mempunyai sifat karakteristik yaitu prokariotik, tidak berflagella, mengandung pigmen hijau biru yang menyebar di seluruh protoplas, hanya mempunyai satu kelas yaitu Cyanophyceae (Prescod, 1970). Cyanophyta dapat menghasilkan vakuola gas yang dapat membuatnya mengapung (Reynolds, 1980).

Euglenophyta dengan ciri karakteristik yaitu sel soliter dan berenang bebas karena mempunyai flagella yang terletak di bagian anterior, mempunyai beberapa kloroplas yang bentuknya bervariasi, hanya ada satu kelas yaitu Euglenophyceae. *Euglena* mempunyai bentuk memanjang dengan satu flagella, mengandung pigmen karotenoid yang muncul sebagai respon terhadap intensitas cahaya, jarang dijumpai di laut (Prescod, 1970).

Pyrrophyta atau dinoflagellata mempunyai ciri-ciri karakteristik yaitu sel soliter, berenang dengan dua flagella, mengandung pigmen klorofil a, karoten dan xanthofil (Prescod, 1970). Merupakan produsen primer yang penting karena reproduksi yang cepat dan kapasitas fotosintesisnya (Reynolds, 1980).

Menurut Ambarwati (1997) fitoplankton di perairan Waduk Gajah Mungkur Wonogiri dijumpai tiga kelas yaitu Chlorophyta, Cyanophyta dan Diatom.

Chlorophyta 14 spesies diantaranya *Pediastrum*, *Selenestrum*, *Spyrogira*, *Treubaria*, *Volvox* dan *Zygnema*. Cyanophyta 7 spesies terdiri dari *Anabaena*, *Microcystis* dan *Diatom* terdiri dari 9 spesies diantaranya *Diatomae vargaeae*, *Fragillaria*, *Navicula*, *Nitzschia* dan *Pinularia*.

D. Distribusi Vertikal Fitoplankton

Fitoplankton umumnya dijumpai pada permukaan perairan, karena dalam pertumbuhan dan perkembangannya memerlukan cahaya matahari yang digunakan untuk proses fotosintesis. Fitoplankton danau dipengaruhi kuat oleh musim. Di daerah sedang dan kutub populasi fitoplankton sangat kontras antara musim panas dan musim dingin. Sedangkan di daerah tropis populasi fitoplankton kontras antara musim hujan dan kemarau (Colinvoux, 1993). Respon fitoplankton terhadap struktur fisik kimia lingkungannya dapat dilihat dengan fluktuasi populasinya.

Contohnya *Asterionella* populasinya akan terus meningkat dan mendominasi populasi musim semi sejauh tercukupi cahaya, nutrisi dan bebas dari predator. Dominasi ini merupakan kompetisi potensial yang terpelihara bagi diatom lain seperti *Fragillaria*, *Tabellaria* dan alga hijau-biru seperti *Oscillatoria* karena *Asterionella* dapat tumbuh cepat dibandingkan alga kompetisi seperti *Fragillaria*. *Oscillatoria* yang blooming dapat menutupi *Asterionella* sehingga mengurangi populasinya, ketika populasi *Oscillatoria* menurun, *Asterionella* dapat memulai pertumbuhan dengan cepat (Goldman and Home, 1983).

Alga hijau-biru tumbuh baik dalam kondisi rendah oksigen, konsentrasi tinggi CO₂ dan banyak nutrisi dekat termoklin (Goldman and Home, 1983). Dan fitoplankton pun sama dengan zooplankton, ia dapat melakukan pergerakan yang dapat menyebabkannya dapat terdistribusi secara horisontal dan vertikal. Distribusi

horizontal fitoplankton dipengaruhi oleh gerakan arus setempat dan angin (Michael, 1994). Distribusi spasial fitoplankton di waduk/danau dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran dasar suatu perairan, aliran masuk, derajat stratifikasi dan lain-lain (Goldman and Home, 1983). Dalam danau kecil variasi komposisi komunitas fitoplankton pada taraf horizontal biasanya kecil, perbedaan besar terjadi pada dasar littoral mungkin terkontaminasi oleh flora benthik atau aliran air masuk yang mengandung spesies yang tercuci dalam atau dari aliran masuk (Round, 1973).

Dalam danau yang besar, komunitas fitoplankton tidak semuanya konstan, karena adanya perbedaan status kimia dari gerakan sirkulasi air seperti pada lautan terbuka (Round, 1973). Variasi komunitas fitoplankton pada taraf vertikal ada pada semua waduk dan mencolok selama terjadi stratifikasi thermal. Pada waduk yang terstratifikasi, kedalaman efektif untuk fitoplankton tumbuh adalah pada kedalaman epilimnion. Di bawah zona ini fitoplankton terperangkap dalam sebuah zona dimana aliran air lambat dan karena itu rata-rata sedimentasi fitoplankton meningkat (Round, 1973).

Pada epilimnion sirkulasi distribusi fitoplankton terjadi secara kontinyu, sehingga ketika penetrasi cahaya hanya sedikit maka setiap sel fitoplankton bergerak pada zona cahaya pada periode yang sama, sehingga jumlah sel cenderung naik pada epilimnion sejauh faktor pembatas tidak menghambatnya. Pada danau atau waduk tidak hanya terjadi stratifikasi temperatur tetapi berasosiasi dengan faktor fisik, kimia dan biologi. Penetrasi cahaya dalam epilimnion mungkin berkurang dengan adanya kekeruhan (mungkin disebabkan oleh fitoplankton itu sendiri) pada bagian permukaan, sirkulasi air yang lambat juga menjadi faktor pembatas. Setelah terjadi pemecahan stratifikasi thermal, komunitas fitoplankton menjadi relatif terdistribusi pada semua kolom air (Goldman and Home, 1983).

Pertumbuhan fitoplankton dapat terjadi dengan baik sebelum terjadi stratifikasi thermal, ini dihubungkan dengan panjang hari dimana peningkatan fotosintesis merupakan titik produksi lebih besar daripada respirasi ketika sel fitoplankton berada pada zona afotik (Round, 1973).

Fitoplankton juga melakukan migrasi diurnal, yaitu melakukan migrasi turun naik bila diperlukan yang hanya mungkin terjadi jika kecepatan berpindahnya melebihi rata-rata perpindahan vertikal air karena turbulensi. Dua mekanisme yang dilakukan fitoplankton dalam melakukan migrasi diurnal (Le Cren and Lowe-Mc Connel, 1980) yaitu ;

1. Migrasi dengan mengubah kemampuan mengapung.

Beberapa alga hijau biru mengubah kerapatannya dengan membentuk vakuola gas, selama penyinaran kuat, vakuola gas tidak nampak dan sel alga akan tenggelam. Pembentukan gelembung gas pada saat kondisi cahaya rendah akan mengakibatkan kemampuan sel alga menjadi bertambah dan alga akan naik ke permukaan air.

2. Migrasi aktif dengan flagella

Soeder (1967) Le-Cren dan Lowe-Mc Connell (1980) menyatakan bahwa migrasi fitoplankton dapat menggunakan flagella sebagai fototaksis negatif bila penyinaran rendah dan fototaksis positif bila penyinaran tinggi. Umumnya fitoplankton turun bila penyinaran rendah dan naik bila penyinaran tinggi. Dapat diasumsikan bahwa pergantian dalam reaksi fototaksis berkaitan dengan adaptasi terhadap cahaya (Tilzer, 1973 dalam Le-Cren dan Lowe-Mc Connell, 1980).

E. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Distribusi Vertikal Fitoplankton

1. Cahaya dan Temperatur

Cahaya dan temperatur yang ada dalam perairan mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap kehidupan dan distribusi organisme akuatik termasuk fitoplankton. Radiasi sinar matahari menghasilkan panas yang mengendalikan pola angin di dunia. Energi angin menyebarkan gelombang yang menghasilkan energi pencampuran dalam laut dan air tawar (Goldman and Horne, 1983).

Fitoplankton biasanya berada pada lapisan permukaan perairan untuk memperoleh cahaya optimum yang diperlukan untuk pertumbuhannya. Menurut Wetzel (1983) intensitas cahaya rendah akan mempengaruhi produksi periphyton dan intensitas cahaya tinggi akan meningkatkan produksinya pada tingkat yang lebih tinggi.

Temperatur juga mempengaruhi distribusi organisme akuatik di perairan. Temperatur yang tinggi akan meningkatkan metabolisme dalam tubuh organisme, sehingga banyak organisme akuatik khususnya fitoplankton berada pada lapisan permukaan perairan untuk memperoleh temperatur optimum dan cahaya yang cukup untuk membantunya dalam proses fotosintesis (Reynolds, 1984).

2. Kedalaman

Faktor utama yang mempengaruhi distribusi vertikal fitoplankton adalah kedalaman perairan, hal ini berkaitan dengan intensitas cahaya yang masuk ke dalam kolom air adalah berbeda. Kedalaman dalam suatu waduk berbeda-beda, kedalaman di daerah tepi biasanya dangkal dan semakin ketengah semakin dalam. Adanya perbedaan kedalaman ini juga menyebabkan perbedaan kecerahan suatu perairan, karena kecerahan mempengaruhi penerimaan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam waduk. Kecerahan suatu perairan dapat terganggu oleh

kekeruhan yang disebabkan oleh fitoplankton atau benda-benda tersuspensi seperti lumpur (Goldman and Home, 1983).

3. Oksigen terlarut

Konsentrasi oksigen dalam larutan adalah kebalikan dengan temperatur, air dingin lebih banyak mengandung oksigen daripada air hangat, sehingga jelas fotosintesis dan respirasi dapat berubah dengan adanya hubungan ini. Dalam danau dan sungai yang tidak terpolusi, kehilangan oksigen terbesar dari sistem terjadi selama periode musim panas. Temperatur meningkat selama musim panas dan dapat dihitung kehilangan oksigen terlarut didalamnya.

Setelah stratifikasi thermal maka air dingin kaya oksigen dengan kerapatan tinggi dapat mengalir secara langsung dalam hipolimnion atau pada batas intermediet (tempat terbentuknya thermoklin). Aliran masuk ini memindahkan air permukaan hangat dengan kandungan oksigen sedikit kebagian danau yang kaya oksigen. Daerah yang rendah oksigen ini secara keseluruhan hangat ketika pada waktu yang sama kandungan oksigen meningkat (Goldman and Home, 1983).

Fotosintesis pada perairan tropik terjadi sangat tinggi karena alga tumbuh dengan cepat seperti halnya respirasi dan dekomposisi dari produk mereka terjadi secara cepat dan dominan selama gelap. Pada malam yang tenang ketidakseimbangan antara fotosintesis dan respirasi dapat menghabiskan konsentrasi oksigen hingga batas berbahaya atau membahayakan bagi organisme akuatik. Jumlah pasti dari materi organik apakah itu menjadi detritus tersuspensi atau materi organik terakumulasi pada dasar perairan melalui dekomposisi oleh bakteri seiring dengan hilangnya oksigen dan bertambahnya karbon dioksida (Goldman and Home, 1983).

4. Derajat Keasaman (pH)

Keasaman atau alkalinitas dari danau diukur dengan unit satuan yang disebut pH. Skala eksponensial dari pH adalah 1-14. Dan pH didefinisikan sebagai log negatif dari ion hidrogen. Keasaman ditandai dari 0 hingga 7 dan alkalinitas dari 7 hingga 14. Banyak danau memiliki pH 6 – 9 dan lebih asam ditunjukkan pada pH air 2 dan pada beberapa danau eutrofik atau danau soda memiliki pH 10 hingga 11,5. Ketika pH suatu danau turun dari 4 atau 5 maka keanekaragaman spesies akan terbatas sekali (Goldman and Home, 1983). Konsentrasi ion hidrogen juga mengatur keadaan kimia nutrien danau termasuk karbon dioksida.

Perubahan pH mempengaruhi nutrien penting tanaman seperti fosfat, amoniak, besi dan "trace metal". Karbon dioksida sebagai gas yang dapat larut dalam air menghasilkan asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat diurai menjadi ion bikarbonat (HCO_3^-) dan ion karbonat (CO_3^{2-}) (Goldman and Home, 1983), menurut persamaan :



Tinggi rendahnya pH suatu perairan ditentukan oleh kadar karbon dioksida terlarut dalam perairan tersebut. Semakin banyak kandungan karbon dioksida dalam air akan menyebabkan pH air semakin kecil dan bersifat asam. Sedangkan semakin sedikit kandungan karbondioksida dalam air akan meningkatkan pH perairan sehingga perairan tersebut bersifat basa (Goldman and Home, 1983). CO_2 diperlukan untuk memelihara HCO_3^- dalam larutan yang disebut dengan "equilibrium CO_2 " atau (kesetimbangan CO_2) (Goldman and Home, 1983).

5. Fototaksis

Istilah fototaksis menurut Kauthreaux (1980) adalah kemampuan individu-individu dalam mempertahankan keadaannya pada suatu zona intensitas cahaya optimum. Adanya fototaksis menyebabkan fitoplankton dapat terdistribusi pada kedalaman tertentu di dalam perairan.

Fototaksis merupakan gerakan yang dilakukan oleh fitoplankton mengikuti cahaya dan temperatur optimum serta untuk menghindari kompetisi dan predasi. Arah gerakan fototaksis dari dinoflagellata dan ciliata menimbulkan "red-tide" di lautan dan kolam (Goldman and Horne, 1983).

Beberapa spesies seperti *Oscillatoria splendida* adalah fototaksis negatif. Beberapa diatom dapat melakukan pergerakan mengikuti cahaya dengan cara melakukan pembalikan atau pergerakan memutar tubuhnya, seperti yang dilakukan oleh *Oscillatoria sancta* dan *Amphora* (Jackson, 1968). Sedangkan *Anabaena* yang berbentuk filamen dapat melakukan fototaksis dengan cara melekukkan filamennya, sehingga sisi yang terkena cahaya menjadi cekung. Sayangnya respon fototaksis bukan merupakan sebuah gambaran yang tepat dari sel tetapi dapat bervariasi dengan pertumbuhan dan media yang berbeda (Jackson, 1968).