

**RESPON PERTUMBUHAN *Microcystis* spp. DARI WADUK
SUTAMI MALANG TERHADAP AERASI, VARIASI pH DAN
LAMA PENYINARAN**

SKRIPSI

**oleh :
RINTA PUSPITA RAKHMAWATY
0310910047 - 91**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2008**

**RESPON PERTUMBUHAN *Microcystis* spp. DARI WADUK
SUTAMI MALANG TERHADAP AERASI, VARIASI pH DAN
LAMA PENYINARAN**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Biologi**

**oleh :
RINTA PUSPITA RAKHMAWATY
0310910047 - 91**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2008**

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi penggunaannya hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.



RESPON PERTUMBUHAN *Microcystis* spp. DARI WADUK SUTAMI MALANG TERHADAP AERASI, VARIASI pH, DAN LAMA PENYINARAN

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan respon pertumbuhan *Microcystis* spp. pada media BG-11 terhadap aerasi, variasi pH, dan lama penyinaran. Kultur *Microcystis* spp. yang telah murni ditumbuhkan pada media BG-11 kemudian diperlakukan dengan aerasi dan tanpa aerasi pada pH 7,4 dan 9. Inkubasi dilakukan sampai tercapai fase stasioner pada intensitas cahaya buatan 5-9 kLux dengan lama penyinaran 12 dan 24 jam/hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum fase lag *Microcystis* spp. memerlukan waktu yang sama pada semua perlakuan, yaitu satu hari. Fase log penyinaran 12 jam/hari lebih lama dari pada penyinaran 24 jam/hari. Fase stasioner sel *Microcystis* spp. pada beberapa perlakuan berlangsung dengan cepat sehingga tidak terlihat. Fase kematian *Microcystis* spp. yang paling lama terjadi pada perlakuan aerasi, pH 9, penyinaran 12 jam/hari (setelah hari ke 21) sedangkan yang paling cepat terjadi pada perlakuan tanpa aerasi, pH 9, penyinaran 24 jam/hari (setelah hari ke 4). Analisis statistika menggunakan ANOVA dilanjutkan uji Tukey HSD ($\alpha = 0,05$) menunjukkan terdapat beda nyata kelimpahan sel *Microcystis* spp. pada semua perlakuan. Kelimpahan maksimum (K) paling tinggi terjadi pada perlakuan aerasi, pH 7,4, penyinaran 12 jam/hari ($152-189.10^6$ sel/ml) dan K paling rendah terjadi pada semua perlakuan tanpa aerasi ($6-12.10^6$ sel/ml). Konsentrasi oksigen terlarut pada semua perlakuan aerasi di akhir inkubasi mengalami peningkatan. Faktor abiotik lain yang meliputi intensitas cahaya di luar media, suhu media, suhu lingkungan, dan konduktivitas relatif stabil selama penelitian.

Kata kunci : aerasi, lama penyinaran, *Microcystis* spp., pH, respon pertumbuhan.

GROWTH RESPONSES OF *Microcystis* spp. ISOLATED FROM SUTAMI RESERVOIR MALANG TOWARD AERATION, VARIATION OF pH, AND LENGTH OF IRRADIATION

ABSTRACT

The objectives of this research were to determine the effect of aeration, variation of pH, and length of irradiation on *Microcystis* spp. growth. *Microcystis* spp. were grown on medium BG-11 with aeration and without aeration. Variation of medium pH were 7.4 and 9. Cultures were incubated until reached stationary phase under light intensity 5-9 kLux (length of irradiation were 12 and 24 hours/day). The results showed that generally the lag phase was occurred after first day of incubation. The log phase in medium with irradiation length 12 hours/day was longer than 24 hours/day. The stationary phase of *Microcystis* spp. on some treatment could not be detected. The longest death phase of *Microcystis* spp. was in medium with aeration, pH 9, irradiation length 12 hours/day (after 21th day), but the lowest was in medium without aeration pH 9 irradiation length 24 hours/day (after 4th day). Statistical analysis using ANOVA followed by Tukey HSD test ($\alpha = 0.05$) shown that there were differences of maximum cell density of *Microcystis* spp. (K) in all treatment. The highest K was in medium with aeration, pH 7.4, length of irradiation 12 hours/day (152.10^6 - 189.10^6 cells/ml). The lowest K were in medium without aeration (6.10^6 - 12.10^6 cells/ml). Concentration of dissolved oxygen in medium after incubation was increase. The other abiotic factor such as light intensity, medium temperature, environment temperature, and environment conductivity were stable as long as treatment.

Key words : aeration, growth respons, length of irradiation time, *Microcystis* spp., pH.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	1
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	3
ABSTRAK	4
ABSTRACT.....	5
DAFTAR ISI	6
DAFTAR GAMBAR	8
DAFTAR TABEL	10
DAFTAR LAMPIRAN	11
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	12
1.2.Rumusan Masalah	13
1.3.Tujuan Penelitian	13
1.4.Manfaat Penelitian	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Karakteristik Fisika dan Kimia Waduk Sutami	14
2.2.Biologi tentang <i>Microcystis</i> dan toksisitasnya	16
2.2.Faktor pembatas pertumbuhan <i>Microcystis</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1.Waktu dan Tempat	21
3.2.Pengambilan Sampel <i>Microcystis</i> spp.	21
3.3.Purifikasi <i>Microcystis</i> spp.	21
3.4.Uji Pengaruh Nilai pH dan Konsentrasi Oksigen Terlarut Terhadap Pertumbuhan <i>Microcystis</i> Spp.	22
3.5.Penentuan Kelimpahan Sel <i>Microcystis</i> spp.	22
3.6.Pengukuran Faktor Abiotik.....	23
3.7.Rancangan Penelitian	24
3.8.Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.Kurva Pertumbuhan <i>Microcystis</i> spp	26
4.2 Kelimpahan <i>Microcystis</i> spp. maksimum (K) dan waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum <i>Microcystis</i> spp (t)	30
4.3.Faktor Abiotik setiap perlakuan pH, aerasi, dan lama penyinaran.....	33
BAB V PENUTUP	
5.1.Kesimpulan.....	40
5.2.Saran.....	41

DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	49

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Sel <i>Microcystis Aeruginosa</i>	17
Gambar 2. Kurva pertumbuhan <i>Microcystis</i> spp pada perlakuan pH 7,4 dan 9, aerasi dan non aerasi dengan lama penyinaran 12 jam/hari.....	27
Gambar 3. Kurva pertumbuhan <i>Microcystis</i> spp pada perlakuan pH 7,4 dan 9, aerasi dan non aerasi dengan lama penyinaran 24 jam/hari.....	28
Gambar 4. Kelimpahan maksimum <i>Microcystis</i> spp.(K) ($\times 10^6$ sel/ml) yang bisa didukung oleh media BG-11 pada tiap perlakuan.....	30
Gambar 5. Waktu yang diperlukan untuk mencapai Kelimpahan maksimum <i>Microcystis</i> spp. pada tiap perlakuan.....	32
Gambar 6. Nilai intensitas cahaya (kLux) tiap perlakuan.....	34
Gambar 7. Nilai suhu media BG-11 ($^{\circ}\text{C}$) tiap perlakuan.....	34
Gambar 8. Nilai suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) tiap perlakuan.....	35
Gambar 9. Nilai konduktivitas (mS/cm) tiap perlakuan.....	36
Gambar 10. Nilai pH media BG-11 tiap perlakuan.....	37
Gambar 11. Nilai konsentrasi oksigen terlarut dengan perlakuan aerasi dan non aerasi pada media BG-11	38
Gambar 12. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 12 jam/hari.....	51
Gambar 13. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan aerasi, pH 9 , lama penyinaran 12 jam/hari.....	51
Gambar 14. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan non aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 12 jam/hari.....	52
Gambar 15. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan non aerasi, pH 9 , lama penyinaran 12 jam/hari.....	52
Gambar 16. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 24 jam/hari.....	53

Gambar 17. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan aerasi, pH 9 , lama penyinaran 24 jam/hari.....	53
Gambar 18. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan non aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 24 jam/hari.....	54
Gambar 19. Fase-fase pada kurva pertumbuhan sel <i>Microcystis</i> spp. perlakuan non aerasi, pH 9 , lama penyinaran 24 jam/hari.....	54



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.	Variasi koloni dari spesies dominan genus <i>Microcystis</i>	20
Tabel 2.	Pengamatan kisaran kualitas air Waduk Sutami pada tahun 2004 hingga tahun 2006.....	49
Tabel 3.	Hasil pengukuran kualitas air Waduk Sutami pada saat pengambilan sampel (22 Agustus 2007)....	49
Tabel 4.	Komposisi media BG 11.....	50
Tabel 5.	Hasil uji ANOVA terhadap K yang bisa didukung oleh media BG-11 antar perlakuan pH dan aerasi pada penyinaran 12 jam/hari dan 24 jam/hari.....	55
Tabel 6.	Hasil uji ANOVA terhadap waktu untuk mencapai K antar perlakuan pH dan aerasi pada lama penyinaran 12 jam/hari dan 24 jam/hari.....	55



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1	Tabel Pengamatan kisaran kualitas air Waduk Sutami.....	49
Lampiran 2	Tabel komposisi media BG 11.....	50
Lampiran 3	Fase-fase pertumbuhan pada sel <i>Microcystis</i> spp. penelitian.....	51
Lampiran 3	Hasil uji ANOVA terhadap nilai kelimpahan maksimum <i>Microcystis</i> spp. dan waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum <i>Microcystis</i> spp. antar perlakuan aerasi, pH, lama penyinaran 12 dan 24 jam/hari.....	55



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peledakan (*blooming*) populasi dari berbagai jenis Cyanobacteria merupakan salah satu permasalahan yang sering timbul pada perairan menggenang. Perairan tawar yang juga mengalami permasalahan tersebut adalah Waduk Sutami di Malang Jawa Timur. Hasil penelitian Retnaningdyah dkk. (2002) menunjukkan bahwa di daerah Bendungan Sutami terjadi *blooming Microcystis* spp. Sedangkan Samino dan Retnaningdyah (2004), dan Retnaningdyah dan Samino (2005 dan 2006) menulis bahwa pada tahun 2004-2006 selalu terjadi kodominansi oleh tiga jenis plankton yaitu *Microcystis* spp., *Synedra*, dan *Ceratium*.

Microcystis merupakan genus dari Cyanobacteria yang membentuk koloni dan selalu ditemukan mengapung di permukaan air. Ukuran koloninya bermacam – macam tergantung jumlah sel tunggal yang ada di dalam koloni tersebut (Maryland Departement of Natural Resources, 2007). *Microcystis* spp. dapat menghasilkan racun yang disebut *microcystin*. Pada keadaan tidak terjadi *blooming*, *microcystin* tidak berbahaya bagi organisme lain. Namun pada keadaan *blooming*, *microcystin* dapat menyebabkan kematian pada organisme perairan, ternak, dan burung (Obelhoster dkk., 2003 dan Obelhoster, 2006). Studi lapang yang dilakukan di daerah Afrika Selatan memberikan hasil bahwa suhu serta konsentrasi nitrogen, fosfor, zat besi dan seng di lingkungan berhubungan dengan jumlah racun yang ditemukan dalam kumpulan Cyanobacteria (Wicks dan Thiel, 1990 dalam Obelhoster dkk., 2003). Sedangkan menurut Rolland dkk.(2005) dan Yupeng (2006), konsentrasi *microcystin* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu air, pH, intensitas cahaya, oksigen terlarut dan ketersediaan CO₂.

Kondisi pH perairan menentukan jenis fitoplankton yang mendominasi suatu perairan (Seroka, 2004 dan Wedge, 2004). Spesies plankton tertentu hanya dapat hidup pada keadaan asam sedangkan jenis yang lain hanya dapat hidup pada kondisi basa (Goldman dan Horne, 1983 dan Payne, 1986). Plankton yang mendominasi perairan dengan pH di bawah tujuh (pH asam) adalah taksa Chlorophyceae, Crysohytes, dan Dinoflagelata, sedangkan plankton yang mendominasi perairan pada pH di atas tujuh (pH

basa) adalah taksa Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chlorococcales, dan Diatom (Obelhoster, 2006). Oksigen terlarut dapat mempengaruhi pertumbuhan plankton karena keberadaannya sangat menentukan kecepatan metabolisme dan respirasi plankton (Ewusie, 1990). Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui respon pertumbuhan *Microcystis* spp. dari Waduk Sutami Malang terhadap aerasi, variasi pH dan lama penyinaran.

1.2.Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah : Apakah aerasi, pH, dan lama penyinaran berpengaruh terhadap pertumbuhan *Microcystis* spp. dari Waduk Sutami Malang ?

1.3.Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- 1.Mengetahui pengaruh aerasi dan variasi pH pada media BG-11, serta lama penyinaran terhadap pola pertumbuhan *Microcystis* spp.
- 2.Mengetahui pengaruh aerasi dan variasi pH pada media BG-11, serta lama penyinaran terhadap kelimpahan sel *Microcystis* spp. maksimum yang bisa didukung oleh media BG-11 (K).
- 3.Mengetahui pengaruh aerasi dan variasi pH pada media BG-11, serta lama penyinaran terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kelimpahan sel *Microcystis* spp. maksimum yang bisa didukung oleh media BG-11 (t).

1.4.Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang berupa pengaruh aerasi dan pH pada media BG-11 serta lama penyinaran terhadap pertumbuhan *Microcystis* spp. ini diharapkan dapat dijadikan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya, terutama untuk metode kultur dalam rangka pengendalian *blooming Microcystis* spp. di perairan tawar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Fisika dan Kimia Waduk Sutami

Waduk merupakan perairan menggenang dengan ekosistem terbuka yang sengaja dibuat manusia untuk berbagai fungsi, diantaranya pembangkit listrik tenaga air, irigasi, perikanan, pariwisata dan tempat penampungan air (Smith, 1990). Salah satu waduk terbesar di Jawa Timur adalah Waduk Sutami yang terletak di Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang, tepatnya sekitar 50 km di sebelah selatan Kota Malang. Waduk ini dibuat dengan membendung Sungai Brantas. Luas Daerah Aliran Sungai sebesar 2.050 km² dan luas genangannya 7,9 km², sedangkan kapasitas efektifnya adalah 145.150.000 m³. Iklim di sekitar Waduk Sutami adalah sama dengan iklim rata – rata di daerah lain di Jawa Timur. Waduk Sutami mengalami dua musim yaitu musim hujan (Nopember – April) dan musim kemarau (Mei – Oktober). Curah hujan tahunan rata – rata di Daerah Aliran Sungai sebesar 2300 mm. Suhu rata – rata harian di sekitar lokasi Waduk sekitar 25⁰C, sedangkan kelembapan udara pada musim hujan sekitar 87% dan pada musim kemarau sekitar 74% (Retnaningdyah dan Samino, 2006).

Nilai pH air di Waduk Sutami hasil pemantauan pada tahun 2004-2005 berkisar antara 6,97 - 9,6 (Samino dan Retnaningdyah, 2004 dan Retnaningdyah dan Samino, 2005). Menurut Goldman dan Horne (1983) dan Hynes (1963), nilai pH adalah suatu ukuran dari konsentrasi ion hidrogen dan menunjukkan kondisi perairan apakah bereaksi asam atau basa. Nilai pH pada suatu perairan memiliki peranan penting dalam proses kimia perairan, sehingga mempengaruhi pengambilan bahan organik, sebagai contoh nilai pH yang tinggi menyebabkan penurunan kelarutan fosfor (Harper, 1992). pH perairan dapat berpengaruh terhadap kelimpahan dan keragaman plankton. Perairan yang ideal bagi kehidupan organisme adalah perairan dengan pH 6,5-8,5 (Odum, 1971). Sementara itu Effendi (2003) menyatakan bahwa sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5.

Samino dan Retnaningdyah (2004) dan Retnaningdyah dan Samino (2005), menyebutkan bahwa kadar oksigen terlarut di Waduk Sutami selama tahun 2004-2005 berkisar antara 3,2–10,3 mg/l. Menurut Hynes (1963) dan Whitton (1975), suatu

perairan yang baik bagi kehidupan organisme pada umumnya mempunyai kandungan oksigen terlarut tidak kurang dari 4 mg/l. Oksigen terlarut di perairan dimanfaatkan untuk respirasi aerobik dan untuk reaksi oksidasi reduksi senyawa kimia seperti ion nitrat, ammonia, sulfat, sulfit, fero maupun feri (Brower dkk., 1990). Kandungan oksigen selain ditentukan oleh sumbernya juga dipengaruhi oleh faktor lain yaitu suhu, aktivitas organisme dan reaksi bahan organik. Aktivitas organisme yang menentukan kandungan oksigen terlarut misalnya proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton di mana fitoplankton menghasilkan oksigen dari proses tersebut. Hal tersebut merupakan faktor yang menyebabkan proses fotosintesis oleh fitoplankton menjadi sumber utama oksigen terlarut dalam air. Selain itu oksigen terlarut juga ditentukan oleh suhu perairan karena suhu perairan yang tinggi akan menyebabkan daya ikat perairan terhadap oksigen atmosfer menjadi semakin rendah, sehingga kecepatan difusi oksigen dalam air sangat lambat. Sebaliknya bila suhu perairan rendah maka difusi oksigen dari atmosfer ke perairan akan cepat (Boyd, 1982).

Rata – rata kadar nitrat di Waduk Sutami berdasarkan pengamatan pada tahun 2004-2006 berkisar antara 0,3-10,20 mg/l (Samino dan Retnaningdyah, 2004, dan Retnaningdyah dan Samino, 2005 dan 2006). Menurut Pelczar dkk. (1986) dan Hawkes (1979), sumber utama nitrat di dalam air berasal dari limbah atau buangan yang mengandung senyawa nitrogen berupa bahan organik protein dan senyawa anorganik seperti pupuk nitrogen (urea dan ZA). Peningkatan nitrat di dalam air dapat menambah kesuburan perairan sehingga mempercepat pertumbuhan organisme yang berperan sebagai produsen seperti fitoplankton.

Kadar fosfat total di perairan Waduk Sutami hasil pengukuran tahun 2004-2006 berkisar antara 0,005-1,9 mg/l (Samino dan Retnaningdyah, 2004, dan Retnaningdyah dan Samino, 2005 dan 2006). Menurut Pelczar dkk. (1986) dan Hawkes (1979), sumber utama fosfat dapat berasal dari pencemaran industri, hanyutan pupuk yang mengandung unsur P, limbah domestik, dan hancuran bahan organik serta mineral – mineral fosfat. Selain itu menurut Stevens (2005) dalam Oberholster (2006), pencemaran nutrisi khususnya dengan fosfat dan nitrat yang berasal dari saluran air penduduk dan sistem sanitasi air kotor dapat menyebabkan eutrofikasi suatu

perairan. Menurut Kirke (2001), nitrat dan fosfat yang berlebihan di suatu perairan merupakan faktor pemicu tumbuhnya *Microcystis* spp.

Kadar sulfat di perairan Waduk Sutami berdasarkan pengukuran tahun 2004-2006 berkisar antara 8,75-19,26 mg/l. Sedangkan kadar H_2S berkisar antara 0–0,013 mg/l (Samino dan Retnaningdyah, 2004, dan Retnaningdyah dan Samino, 2005 dan 2006). Tingginya kandungan H_2S di perairan dapat diakibatkan oleh adanya pencemaran organik tinggi yang berakibat pada defisiensi oksigen terlarut di perairan (Hawkes, 1979; Goldman dan Horne, 1983).

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara biologis (BOD). *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara kimiawi (COD) (Wardhana, 2001). Kadar BOD dan COD di Waduk Sutami hasil pengukuran tahun 2004-2006 yaitu 4,7 – 27,4 mg/l untuk BOD dan 12,4-106,4 mg/l untuk COD (Samino dan Retnaningdyah, 2004, dan Retnaningdyah dan Samino, 2005 dan 2006). Nilai tersebut telah melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan uraian tentang parameter-parameter kimia yang telah diukur, maka perairan Waduk Sutami selama waktu pengamatan 2004-2006 termasuk ke dalam kategori eutrofik dengan sumber pencemar utama adalah bahan organik (Samino dan Retnaningdyah, 2004).

2.2. Biologi tentang *Microcystis*

Microcystis merupakan organisme yang bersel tunggal dan ditemukan di seluruh permukaan perairan yang mengalami eutrofikasi (Fontaine, 2004 dan Otsuka dkk., 2000). *Microcystis* termasuk kelompok Cyanobacteria yang memiliki klorofil a dan dapat melakukan proses fotosintesis oksigenik melalui fotosistem I dan II. Proses fotosintesis merupakan proses utama dalam metabolisme energi serta memerlukan air, karbondioksida dan cahaya (Mur dkk., 1999). Cyanobacteria merupakan organisme fotoautotrofof, pada organisme jenis ini, cahaya dan nutrisi merupakan hal yang sangat penting untuk mengontrol pertumbuhan (Tilzer dkk., 1987).

Sel *Microcystis* memiliki diameter sekitar 2-8 μm . Organisme ini membentuk koloni seperti polen yang terapung di permukaan air dengan warna hijau kekuningan. *Microcystis* berkembang biak

dengan cara membelah, tidak menghasilkan gamet atau zigot dan tidak melalui fase meiosis. Sel *Microcystis* membelah pada tiga bidang tegak. Sel-sel anak ini kemudian tumbuh seperti bentuk dan ukuran induknya (Cyanosite, 1997 dan Stern dkk., 2003). Klasifikasi dari *Microcystis* adalah sebagai berikut (Stern dkk., 2003 dan Holt dkk., 2000):

Kingdom : Bacteria
Phylum : Bacteriophyta
Class : Cyanobacteriae
Order : Chroococcales
Family : Chroococcaceae
Genus : *Microcystis*



Gambar 1. Sel *Microcystis aeruginosa* (NIES, 2007)

Cyanobacteria menghasilkan sejumlah besar metabolit sekunder yang tidak berguna untuk metabolisme sel. Kebanyakan hasil metabolit sekunder Cyanobacteria merupakan peptida dan memberikan efek sejumlah bioaktivitas, seperti racun untuk organisme eukariotik dan antimikroba, antifungal, antiviral, dan aktivitas penghambat enzim. Metabolit sekunder mikrobial biasanya dihasilkan pada fase stasioner tetapi pada Cyanobacteria, peptida metabolisme sekunder dihasilkan pada semua fase pertumbuhan (Repka dkk., 2004). Metabolit sekunder yang dikeluarkan oleh *Microcystis* disebut *microcystin* yang merupakan suatu endotoksin

(Christoffersen dkk., 2002). *Microcystin* adalah substansi bioaktif paling dominan yang dihasilkan oleh *M.aeruginosa* dan merupakan suatu rantai siklik heptapeptida (Fontaine, 2004). *Microcystin* disintesis dengan mekanisme *thiotemplate*, mirip dengan peptida nonribosomal (misalnya antibiotik seperti gramisidin and tyrosidin) yang dihasilkan oleh bakteri dan jamur (Kurmayer dkk., 2003). *Microcystin* diabsorpsi melalui saluran pencernaan hewan yang mengkonsumsinya, kemudian masuk ke dalam darah melalui empedu (Fischer, 2000 dalam Retnaningdyah dan Samino, 2005). Senyawa ini tidak hanya berbahaya bagi zooplankton saja, tetapi juga bagi organisme yang lebih tinggi. *Microcystin* menyebabkan *hepatotoxin*, penyakit kulit, mata, *mucosa*, dan reaksi pencernaan. *World Health Organization* (WHO) telah mengumumkan bahwa untuk sementara kandungan maksimal *microcystin* dalam air minum adalah 1 mikrogram per liter ($\mu\text{g/l}$) (Fontaine, 2004).

2.3.Faktor Pembatas Pertumbuhan *Microcystis*

Faktor yang menjadi penyebab terjadinya dominansi *Microcystis* adalah terjadinya kompetisi sumber daya alam, kondisi cahaya, kondisi pH dan CO_2 , daya apung, toleransi suhu tinggi, kemampuan menghindar terhadap herbivora, penyimpanan nutrisi selular, dan eksploitasi ammonium (Yoshinaga dkk., 2006). Sel *Microcystis* umumnya kodominan pada daerah yang bersifat basa bersama plankton lain seperti *Anabaena*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, dan *Clostridium* (Boyd, 1982). Pada daerah beriklim subtropis, populasi *Microcystis* mulai meningkat pada awal musim semi atau awal musim panas yaitu pada saat suhu lingkungan melebihi 20°C dan menjadi dominan pada musim panas. Sedangkan pada musim dingin koloni *Microcystis* mulai berkurang dan menghilang dari permukaan perairan (Reynold, 1984 dalam Watanabe, 1996). Pengamatan yang dilakukan oleh Watanabe dan Oishi pada 1985 menyatakan bahwa laju pertumbuhan sel *Microcystis* pada suhu 32°C lebih tinggi dari pada suhu 25°C dan 18°C . Ramirez dan Bicudo (2005) menjelaskan bahwa suhu yang optimum menyebabkan metabolisme seluler dan respirasi organisme air juga berlangsung optimum. Metabolisme yang berlangsung optimum tersebut memicu proses absorpsi nutrisi dalam media yang digunakan sebagai sumber energi dalam menghasilkan sel baru. Reynold (1984) dalam Robarts dan Zohary (1987) menyatakan bahwa laju proses selular pada fitoplankton naik

secara eksponensial terhadap suhu, dengan nilai maksimal laju proses seluler terjadi pada suhu antara 25-40°C.

Tabel 1. Variasi koloni dari spesies dominan genus *Microcystis* (Sumber : Otsuka dkk., 2000).

Spesies	Karakteristik koloni
<i>M. aeruginosa</i>	Kurang lebih bentuknya tetap, memanjang atau membulat biasanya dengan lubang yang jelas, dengan perlakuan tertentu bagian tepi dari koloni akan terlihat di mikroskop, diameter sel sekitar 4-6,5 μm .
<i>M. ichthyoblabe</i>	Distribusi sel dalam koloni homogen, tidak teratur, atau seperti busa, bagian tepi dari koloni tidak teratur, dengan perlakuan tertentu bagian tepi dari koloni akan terlihat di mikroskop, diameter sel sekitar 2-3,2 μm .
<i>M. novacekii</i>	Kecil dan bentuknya tetap, tidak bulat, terdiri dari sel-sel yang teragregasi, dan dikelilingi oleh substansi bergelatin yang tebal.
<i>M. viridis</i>	Bentuknya tetap, kecil, dan terdiri dari subkoloni yang berbentuk kubus yang berisi delapan sel, dan bagian tepi dari koloni biasanya terlihat, berombak-ombak di populasi alami, diameter sel sekitar 4-7,9 μm .
<i>M. wesenbergii</i>	Sferis, memanjang, bulat, dengan bagian tepi yang terlihat, dibatasi oleh garis yang lembut dan berlanjut, dan bergetah, dengan susunan sel dalam lapisan tunggal dalam bagian tepi atau teragregasi dalam bagian tengah koloni, diameter sel sekitar 4-8,5 μm .

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Otsuka dkk. (2000) menunjukkan perbedaan bentuk koloni dari spesies dominan genus *Microcystis* (Tabel 1). Semua strain yang diteliti menunjukkan adanya ciri-ciri khusus pada bentuk setiap strain. Bentuk-bentuk tersebut menjadi tanda munculnya strain-strain *Microcystis* tetapi bentuk-bentuk tersebut akan berubah dan menunjukkan variasi ketika dikultur pada media yang berbeda. Menurut Rao dkk. (1996) media

BG-11 merupakan media yang biasa digunakan untuk kultur mikroba dari tanah, air tawar, dan untuk strain yang diisolasi dari laut yang tidak menunjukkan kebutuhan ionik. Media modifikasi untuk BG-11 misalnya BG-11₀ (tidak menggunakan nitrat). Media BG-11₀ digunakan untuk strain yang dapat memfiksasi nitrogen. Media lain yang disarankan untuk kultur Cyanobacteria dari air tawar dan laut selain BG-11₀ adalah BG-11.B₁₂, ASNIII.B₁₂, dan MN.B₁₂. Kondisi kultur untuk semua strain adalah sama, yaitu pada suhu 25°C, intensitas cahaya 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ dan pencahayaan 12 jam terang 12 jam gelap.

Microcystis aeruginosa berwarna hijau kekuningan pada intensitas cahaya tinggi dan berwarna biru kehijauan pada intensitas cahaya rendah tetapi *M. aeruginosa* terutama tumbuh pada daerah dengan intensitas cahaya tinggi. Perubahan warna tersebut terutama berhubungan dengan perubahan dalam klorofil a dan sel *phycocyanin* (Raps dkk., 1983). Terjadinya *blooming Microcystis* di perairan tawar yang mengalami eutrofikasi ditandai dengan timbulnya bau yang tidak enak dan terjadi bentukan buih sehingga menimbulkan gangguan pada suatu tempat rekreasi, serta penyumbatan pada saluran air bersih dan pipa-pipa irigasi (Yoshinaga dkk., 2006).

Toksisitas *Microcystis* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu perairan, pH, intensitas cahaya, kandungan oksigen terlarut dan CO₂. Konsentrasi *microcystin* akan meningkat ketika organisme tersebut terpapar stres lingkungan (Grobelaar dkk., 2004). Tingkat konsentrasi garam dan pH akan mengubah daya racun dari spesies alga, hal tersebut dikarenakan enzim yang menghasilkan racun akan didenaturasi. Produksi *microcystin* secara langsung dapat mempengaruhi lingkungan perairan sehingga kelimpahan zooplankton menjadi rendah karena zooplankton dapat menyerap racun tersebut (Yupeng, 2006).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Maret 2007 sampai bulan Juli 2008. *Microcystis* spp. diambil dari Waduk Sutami Malang. Pembuatan media, purifikasi dan inokulasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi. Inkubasi serta uji pengaruh aerasi, pH dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan *Microcystis* spp. dilakukan di Laboratorium Ekologi dan Diversitas Hewan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang.

3.2. Pengambilan Sampel *Microcystis* spp.

Permukaan air waduk yang mengandung *Microcystis* spp. disaring dengan jaring plankton dan dimasukkan ke dalam botol *jam*. Sampel ini kemudian disimpan dalam *ice box*, setelah sampai di laboratorium, sampel dipindah ke dalam *refrigerator* sampai dilakukan proses purifikasi *Microcystis* spp. Pada waktu pengambilan sampel *Microcystis* spp. di Waduk Sutami, dilakukan juga pengukuran faktor abiotik yang meliputi kadar nitrat (mg/L), suhu (°C), pH, konduktivitas (mS/cm), dan kecerahan (cm) (Hasil tercantum di Lampiran 1-Tabel 3).

3.3. Purifikasi *Microcystis* spp.

Sampel air yang mengandung *Microcystis* spp. disaring dengan saringan dari kain nilon (*glass fiber filter*). Saringan kemudian dibilas dengan larutan garam fisiologis. Secara aseptis, sel-sel *Microcystis* spp. yang telah tersaring dimasukkan ke dalam media BG-11 cair (komposisi tercantum di Lampiran 2-Tabel 4). Menurut Rao dkk. (1996) media yang umum digunakan untuk kultur mikroba dari tanah, air tawar, dan untuk strain yang diisolasi dari laut yang tidak menunjukkan kebutuhan ionik adalah media BG-11. Selanjutnya *Microcystis* spp. hasil purifikasi ini digunakan sebagai stok inokulum.

3.4.Uji Pengaruh Aerasi, pH dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan *Microcystis* Spp.

Pengaruh aerasi pada media kultur diperoleh dengan menempatkan inokulum hasil purifikasi masing-masing sebanyak 30 ml pada 32 botol yang masing-masing berisi 130 ml media BG-11 steril. Sebagian botol berisi isolat tersebut kemudian diinkubasi pada lama penyinaran 12 jam/hari dan sebagian lainnya diinkubasi pada lama penyinaran 24 jam/hari. Intensitas cahaya yang digunakan sebesar 5-9 Klux dengan sumber cahaya yang berasal dari lampu neon merek OSRAM 23 Watt. Pada setiap kelompok lama penyinaran, dibagi lagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok yang diaerasi dan yang tidak diaerasi. Perlakuan pengaruh aerasi pada media kultur diperoleh dengan menghubungkan botol perlakuan dengan aerator dan dijaga kekuatan aerasinya supaya sama pada setiap perlakuan. Variasi nilai pH yaitu 7,4 dan 9 diberikan pada setiap perlakuan tersebut. Nilai pH tersebut diperoleh dengan penambahan larutan HCl 0,1 N ke dalam media untuk menurunkan pH dan penambahan larutan NaOH 0,1 N ke dalam media untuk menaikkan pH sebelum media disterilisasi. Semua kultur *Microcystis* spp. diperlakukan secara *batch culture* sehingga tidak ada penambahan media ketika diambil untuk penghitungan kelimpahan sel. Inkubasi dilakukan sampai kultur tersebut mencapai fase stasioner. Pada perlakuan aerasi pH 7,4 dan 9 lama penyinaran 12 jam/hari inkubasi dilakukan selama 27 hari. Sedangkan untuk perlakuan non aerasi pH 7,4 dan 9 lama penyinaran 12 jam/hari serta semua perlakuan dengan lama penyinaran 24 jam/hari inkubasi dilakukan selama 16 hari.

3.5.Penentuan Kelimpahan Sel *Microcystis* spp.

Penentuan kelimpahan sel *Microcystis* spp. dilakukan satu atau dua hari sekali selama penelitian. Kultur *Microcystis* spp. yang ditumbuhkan dalam media BG-11 cair diambil sebanyak 2 ml secara aseptis, kemudian dipanaskan selama enam menit setelah mendidih lalu diangkat dan didinginkan (Joung dkk., 2006). Setelah dingin, sampel dipipet dan dimasukkan ke dalam *haemocytometer*, lalu diamati di bawah mikroskop pada perbesaran 400 x untuk dihitung jumlah sel-sel *Microcystis* spp. Sel *Microcystis* yang dihitung adalah yang terdapat dalam satu kotak besar *haemocytometer* dengan

volume $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$. Jumlah sel-sel *Microcystis* spp. yang telah dihitung, dimasukkan ke dalam rumus berikut :

$$\frac{\text{Jumlah sel yang terhitung} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{Volume yang dihitung}} \quad (1)$$

3.6. Pengukuran Faktor Abiotik

Parameter abiotik lingkungan yang diukur selama penelitian adalah intensitas cahaya, suhu media, konduktivitas media, pH media dan kandungan oksigen terlarut. Cara pengukuran faktor abiotik tempat kultur *Microcystis* spp. adalah sebagai berikut :

a. Pengukuran Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya pada tempat inkubasi *Microcystis* spp. diukur setiap tiga hari sekali selama penelitian menggunakan luxmeter digital. Satuan yang digunakan adalah Klux. Bagian sensor cahaya pada luxmeter dihadapkan sumber cahaya, kemudian ditunggu beberapa saat hingga angka pada monitor luxmeter stabil.

b. Pengukuran Suhu

Suhu media dan lingkungan tempat inkubasi *Microcystis* spp. diukur setiap tiga hari sekali selama penelitian dengan termometer digital. Satuan yang digunakan adalah $^{\circ}\text{C}$. Sebelum digunakan, probe dibilas dengan akuades kemudian dikeringkan dengan tisu. Probe dicelupkan ke dalam media, kemudian ditunggu beberapa saat hingga angka pada monitor termometer stabil.

c. Pengukuran Konduktivitas

Konduktivitas media diukur dengan konduktivimeter digital setiap tiga hari sekali selama penelitian. Satuan yang digunakan adalah mS/cm. Bagian probe alat dibilas dengan akuades dan dikeringkan dengan tisu, kemudian dicelupkan ke dalam media dan ditunggu beberapa saat hingga angka pada monitor konduktivimeter stabil.

d. Pengukuran pH

pH media diukur dengan pH meter digital setiap tiga hari sekali selama penelitian. Sebelum digunakan pH meter dikalibrasi pada pH 4 dan 7, kemudian probe dari pH meter dibilas dengan akuades dan dikeringkan dengan tisu. Probe dicelupkan pada media dan ditunggu beberapa saat hingga angka pada monitor pH meter stabil.

e. Pengukuran kandungan oksigen terlarut

Kandungan oksigen terlarut pada media diukur dengan metode *winkler*. Oksigen terlarut perlakuan aerasi dan non aerasi diukur pada awal dan akhir penelitian. Pada awal penelitian, media diukur sebelum ditambah *Microcystis* spp. Pada perlakuan aerasi media tersebut diaerasi terlebih dahulu selama satu hari. Metode *winkler* dilakukan dengan memasukkan KOH – KI dan MnSO_4 sebanyak 1 ml ke dalam 250 ml media dalam botol *winkler*, setelah itu dikocok rata dan dibiarkan hingga terbentuk endapan putih dan bening. Kemudian dimasukkan H_2SO_4 pekat sebanyak 1 ml dan endapan akan larut, terbentuk cairan bening kekuning – kuning. Setelah 10 menit, sampel diambil sebanyak 100 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 N hingga larutan berwarna kuning muda. Larutan amilum sebanyak 5 tetes kemudian dimasukkan hingga larutan berwarna biru. Titrasi dilakukan lagi sampai warna biru hilang dan larutan berwarna bening. Titrasi dilakukan duplo dengan jumlah $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dirata – rata = Q ml. Sehingga konsentrasi oksigen terlarut pada media dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$2Q = \text{oksigen terlarut dalam mg/l}$$

(2)

3.7.Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor, yaitu perlakuan aerasi-pH (Aerasi pH 7,4 ; Aerasi pH 9; Non Aerasi pH 7,4 ; dan Non Aerasi pH 9), serta lama penyinaran (12 dan 24 jam/hari). Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali pada waktu yang sama.

3.8.Analisis Data

Berdasarkan data hasil penentuan kelimpahan sel *Microcystis* spp. dengan rumus (1) pada subbab 3.5 maka diperoleh nilai kelimpahan sel *Microcystis* spp. pada setiap waktu penentuan selama inkubasi. Data tersebut kemudian digunakan untuk membuat kurva pertumbuhan *Microcystis* spp. dengan menggunakan program excel.

Dari kurva tersebut kemudian ditentukan kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. yang dapat didukung oleh media BG-11 (K), dan waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. yang dapat didukung oleh media BG-11 (t) pada tiap perlakuan. Perbedaan K dan t antar perlakuan diketahui dari hasil uji ANOVA yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada tingkat signifikansi 5% yang dilakukan dengan menggunakan paket program *SPSS for Windows Release 12*. Pada penelitian ini, pertumbuhan optimum *Microcystis* spp. adalah *Microcystis* spp. yang memiliki nilai K tertinggi dan t paling cepat.



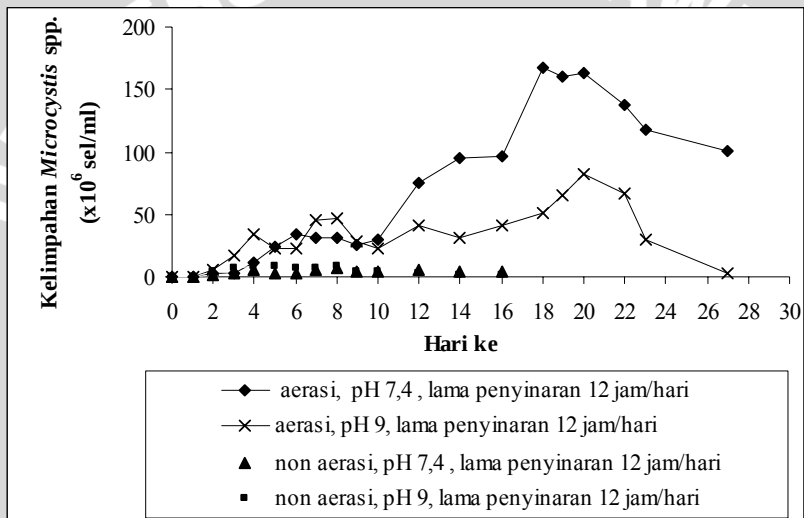
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kurva Pertumbuhan *Microcystis* spp.

Hasil penentuan kelimpahan sel *Microcystis* spp. pada tiap-tiap perlakuan penelitian dapat dilihat pada kurva pertumbuhan di Gambar 2 dan 3 serta Lampiran 3 Gambar 12-19. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa lama fase lag *Microcystis* spp. pada penelitian ini secara umum sama pada semua perlakuan, yaitu satu hari kecuali pada perlakuan non aerasi, pH 9, lama penyinaran 24 jam/hari. Fase lag diindikasikan dengan jumlah sel *Microcystis* spp. pada semua perlakuan hampir sama dengan jumlah sel ketika pertama kali diinkubasi, yaitu $2-7 \times 10^5$ sel/ml. Menurut Madigan dkk. (2003) dan Prescott dkk. (2002), selama fase lag sel-sel mikroorganisme yang dibiakkan masih dalam proses adaptasi terhadap lingkungan yang baru sehingga jumlah sel mikroorganisme selama fase lag hampir sama. Lama fase lag tersebut tergantung pada kondisi mikroorganisme dan keadaan medium. Fase ini mungkin akan lama bila inokulum berasal dari kultur yang sudah lama atau telah dimasukkan *refrigerator*. Penelitian di Afrika Utara oleh Obelhoster dkk. (2003) menunjukkan lama fase lag pada *Microcystis aeruginosa* terjadi sekitar lima hari. Perbedaan lama fase lag sel *Microcystis* spp. pada penelitian ini dengan sel *Microcystis* spp. di Afrika Utara tersebut kemungkinan disebabkan karena terdapat perbedaan kondisi media dan faktor abiotik di lingkungan tempat tumbuhnya.

Lama fase log pada penelitian ini umumnya berkisar 3 sampai 14 hari (Gambar 2 dan 3). Jumlah sel *Microcystis* penelitian ini mengalami peningkatan dari fase lag ke fase log. Jumlah sel *Microcystis* spp. yang paling banyak pada fase log terjadi pada perlakuan aerasi, pH 7,4, lama penyinaran 12 jam/hari yaitu 173×10^6 sel/ml. Pada perlakuan tersebut fase log terjadi dua kali yaitu pada hari ke 2-6 kemudian terjadi fase stasioner, dan fase log dilanjutkan pada hari ke 12-17. Jumlah sel *Microcystis* spp. yang paling sedikit pada fase log terjadi pada perlakuan non aerasi, pH 7,4, lama penyinaran 12 jam/hari yaitu 7×10^6 sel/ml. Pada perlakuan tersebut fase log hanya terjadi satu kali yaitu pada hari ke 2-4. Pertumbuhan yang optimal selama fase log disebabkan karena adanya keseimbangan laju sintesis komponen sel. Pertama, sel

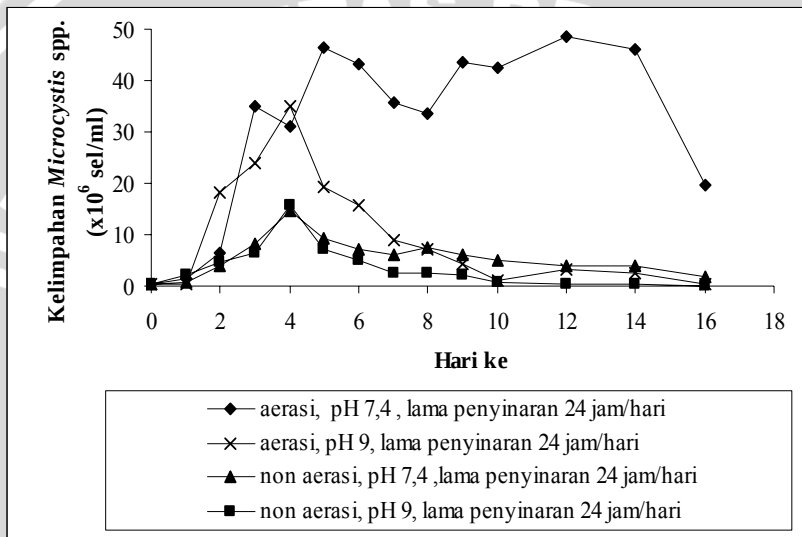
mensintesis ribosom untuk memperkaya kemampuan mensintesis protein. Hal ini diikuti dengan peningkatan sintesis DNA dan protein. Akhirnya, terjadi peningkatan laju reproduksi (Alcarno, 1996 dan Prescott, 2002). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Obelhoster dkk. (2003) pada *Microcystis aeruginosa* di daerah Afrika Utara menunjukkan bahwa lama fase log adalah 11 hari. Hal tersebut berkaitan dengan kondisi nutrisi pada media kultur yang digunakan dan faktor abiotik lingkungan yang ada sehingga mempengaruhi lama fase log.



Gambar 2. Kurva pertumbuhan *Microcystis* spp pada perlakuan pH 7,4 dan 9, aerasi dan non aerasi dengan lama penyinaran 12 jam/hari

Nutrisi pada media BG-11 digunakan untuk pertumbuhan dan metabolisme sel *Microcystis* spp. Nutrisi tersebut akan berkurang sejalan dengan semakin lama waktu inokulasi karena sistem yang diperlakukan adalah *batch culture* sehingga jumlah sel *Microcystis* spp. relatif tetap. Fase yang terjadi pada masa ini disebut fase stasioner. Gambar 2 dan 3 serta menunjukkan bahwa fase stasioner sel *Microcystis* spp. pada beberapa perlakuan tidak terdeteksi. Hal ini diduga karena fase stasioner berlangsung cepat sehingga tidak dapat teramati dalam penghitungan. Fase stasioner

yang tidak terdeteksi terjadi pada perlakuan aerasi, pH 9, lama penyinaran 12 jam/hari, serta aerasi pH 9, non aerasi pH 7,4 dan 9 semuanya pada lama penyinaran 24 jam/hari (Lampiran 3-Gambar 13, 17, 18, dan 19). Menurut Prescott dkk. (2002) dan Brock dkk.(1994) populasi mikroorganisme mencapai fase stasioner dikarenakan keterbatasan nutrisi dan oksigen dalam media. Hal ini menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme menjadi lambat.



Gambar 3. Kurva pertumbuhan *Microcystis* spp pada perlakuan pH 7,4 dan 9, aerasi dan non aerasi dengan lama penyinaran 24 jam/hari

Kondisi lingkungan media tumbuh yang tidak menguntungkan menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme menjadi lambat dan akhirnya mati. Fase kematian sel *Microcystis* spp. penelitian ini yang paling lama terjadi adalah pada perlakuan aerasi, pH 9, lama penyinaran 12 jam/hari yaitu setelah hari ke 21 sedangkan yang paling cepat terjadi pada perlakuan non aerasi pH 9 penyinaran 24 jam/hari yaitu setelah hari ke 4 (Gambar 2 dan 3). Menurut Alcamo (1996) terjadinya kematian sel disebabkan karena akumulasi dari produk beracun hasil metabolisme sekunder, kurangnya nutrisi, dan kondisi lingkungan tumbuh (media) yang tidak menguntungkan.

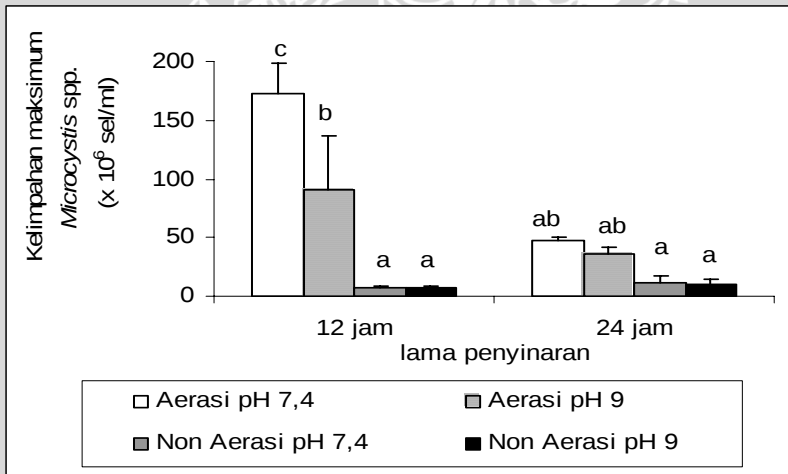
Metabolit sekunder yang dikeluarkan oleh *Microcystis* disebut *microcystin*. *Microcystin* merupakan suatu endotoksin dan tidak dapat didegradasi selama beberapa bulan sehingga kandungan kimia yang ada pada *microcystin* menyebabkan media sebagai tempat untuk pertumbuhan mikroba tidak menguntungkan (Christoffersen dkk., 2002).

Sel *Microcystis* spp. pada perlakuan aerasi lama penyinaran 12 jam/hari memerlukan waktu untuk mencapai fase kematian lebih lama dari perlakuan non aerasi lama penyinaran 12 jam/hari dan semua perlakuan lama penyinaran 24 jam/hari (Gambar 2 dan 3). Tilzer (1987) dan Vermaas (2001) menjelaskan bahwa lama penyinaran berpengaruh dalam proses fotosintesis dan respirasi. Bila cahaya melimpah maka rantai transport elektron pada proses fotosintesis memiliki kapasitas yang lebih tinggi dari pada aliran elektron pada proses respirasi. Tetapi pada kondisi kurang cahaya atau pada keadaan gelap laju respirasi lebih tinggi dari pada fotosintesis. Akibatnya pada kondisi pencahayaan terus menerus, proses respirasi tidak bisa berlangsung optimal. Hal tersebut diduga merupakan penyebab jumlah sel *Microcystis* spp. lebih banyak pada lama penyinaran 12 jam/hari dari pada lama penyinaran 24 jam/hari.

Perlakuan aerasi pada penelitian ini dapat meningkatkan kelimpahan sel *Microcystis* spp. dan mengakibatkan waktu yang diperlukan untuk mencapai fase kematian lebih lama dari pada perlakuan yang tidak diaerasi. Menurut Smith (1990) dan Hargreaves (2003) adanya aerasi dapat mengakibatkan oksigen yang diserap oleh permukaan air akan tercampur pada lapisan air di bawahnya melalui proses perputaran arus. Terjadinya pencampuran tersebut menyebabkan tidak ada stratifikasi nutrisi, dan oksigen terlarut akan merata di semua bagian media. Sedangkan pada media yang tidak mengalami proses pencampuran maka terjadi stratifikasi nutrisi dan oksigen terlarut. Sehingga nutrisi dan oksigen terlarut akan terkumpul di permukaan media. Hal tersebut menyebabkan aktivitas fotosintesis dan respirasi yang dilakukan oleh mikroorganisme yang tidak berada di permukaan media tidak dapat berlangsung optimal.

4.2. Kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (K) dan waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (t)

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelimpahan maksimum sel *Microcystis* spp. yang bisa didukung oleh media BG-11 (K) pada perlakuan aerasi lama penyinaran 12 jam/hari lebih banyak dari perlakuan aerasi lama penyinaran 24 jam/hari. Sedangkan pada perlakuan non aerasi, jumlah sel *Microcystis* spp. hampir sama pada lama penyinaran 12 jam/hari maupun pada lama penyinaran 24 jam/hari. Selain itu, pada lama penyinaran 12 jam/hari kelimpahan sel *Microcystis* spp. pH 7,4 lebih banyak dibandingkan dengan pH 9. Gambar 4 menunjukkan secara umum bahwa nilai K yang paling tinggi terjadi pada perlakuan aerasi pH 7,4 penyinaran 12 jam/hari yaitu $152-189.10^6$ sel/ml, K lebih rendah terjadi pada perlakuan aerasi pH 9 lama penyinaran 12 jam/hari dan aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 24 jam/hari yaitu $36-90.10^6$ sel/ml, sedangkan K paling rendah terjadi pada semua perlakuan tanpa aerasi yaitu berkisar $6-12.10^6$ sel/ml.



Gambar 4. Kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. ($\times 10^6$ sel/ml) yang bisa didukung oleh media BG-11 pada tiap perlakuan.

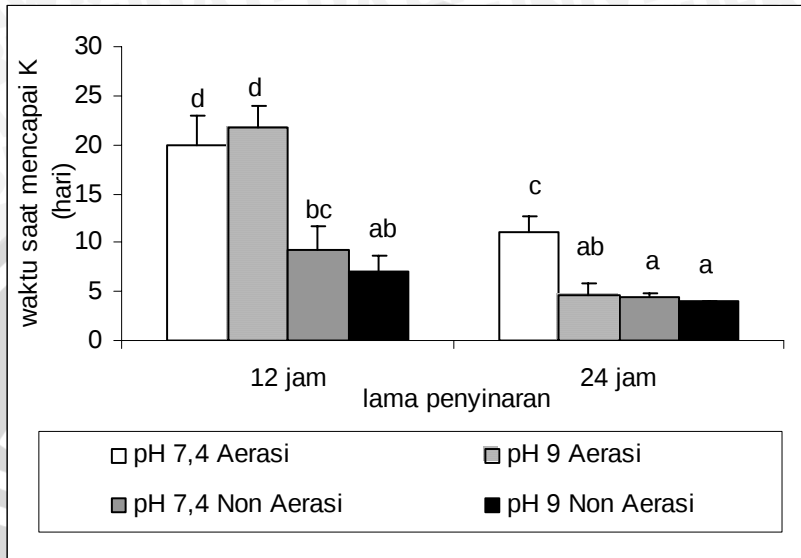
Keterangan : huruf kecil yang sama menunjukkan bahwa perlakuan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey-HSD pada tingkat signifikansi 0,05.

Microcystis aeruginosa yang diteliti di daerah Jerman Barat, dengan rasio lama penyinaran terang dibanding gelap 22 jam : 2 jam menyebabkan pertumbuhan yang cepat dari pada penyinaran terus menerus (Tilzer, 1987). Hal tersebut dikarenakan *Microcystis aeruginosa* merupakan kelas Cyanobacteria yang bersifat fotoautotrof, dimana pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh kualitas cahaya. Bila cahaya melimpah maka rantai transport elektron pada proses fotosintesis memiliki kapasitas yang lebih tinggi dari pada aliran elektron pada proses respirasi. Tetapi pada kelimpahan cahaya yang sangat rendah atau pada keadaan gelap laju respirasi lebih tinggi dari pada fotosintesis (Vermaas, 2001).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sel pada perlakuan aerasi lebih banyak dari perlakuan non aerasi karena kandungan oksigen terlarut pada perlakuan aerasi lebih banyak dari perlakuan non aerasi. Menurut Lakitan (2004), laju respirasi mikroorganisme dipengaruhi oleh ketersediaan jumlah oksigen. Apabila jumlah oksigen terlarut pada media tidak mencukupi maka proses respirasi tidak dapat berjalan optimal sehingga pertumbuhan sel mikroorganisme akan terhambat.

Kelimpahan sel *Microcystis* spp. pada media dengan aerasi pH 7,4 lama penyinaran 12 jam/hari nyata lebih banyak dari pada media dengan aerasi pH 9 (Gambar 4). Menurut Effendi (2003), media yang paling sesuai untuk pertumbuhan biota akuatik adalah media yang memiliki kisar pH 7-8,5.

Waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (t) pada penyinaran 12 jam/hari lebih lama dari pada penyinaran 24 jam/hari (Gambar 5). Hasil ANOVA di Lampiran 3-Tabel 7 menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (t) antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata. Perlakuan aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 12 jam/hari memerlukan t paling lama, masing-masing yaitu 20 dan 21 hari, t lebih singkat terjadi pada perlakuan aerasi pH 7,4 lama penyinaran 24 jam/hari, dan non aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 12 jam/hari masing-masing 7, 9, dan 11 hari. Sedangkan t paling singkat terjadi pada perlakuan aerasi pH 9 penyinaran 24 jam/hari dan tanpa aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 24 jam/hari masing-masing 4 hari.



Gambar 5. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. pada tiap perlakuan.
Keterangan : huruf kecil yang sama menunjukkan bahwa perlakuan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey-HSD pada tingkat signifikansi 0,05.

Microcystis aeruginosa merupakan mikroorganisme yang pertumbuhannya dikontrol oleh cahaya dan nutrisi. Cahaya merupakan faktor pembatas pada proses fotosintesis. Pada keadaan terang maka laju fotosintesis lebih tinggi dari laju respirasi. Sedangkan pada keadaan gelap laju respirasi lebih tinggi dari pada fotosintesis (Margulis dan Schwartz, 1982; Tilzer dkk., 1987; dan Vermaas 2001). Sehingga meskipun kondisi nutrisi media pada kedua perlakuan lama penyinaran tersebut mungkin sama tetapi proses respirasi dan fotosintesis *Microcystis* spp. lebih optimal pada perlakuan dengan lama penyinaran 12 jam/hari dari pada perlakuan dengan lama penyinaran 24 jam/hari. Hal tersebut diduga merupakan faktor penyebab sel *Microcystis* spp. pada lama penyinaran 24 jam/hari lebih cepat mencapai fase kematian dari pada lama penyinaran 12 jam/hari. Berdasarkan uraian tentang kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (K) dan waktu untuk mencapai

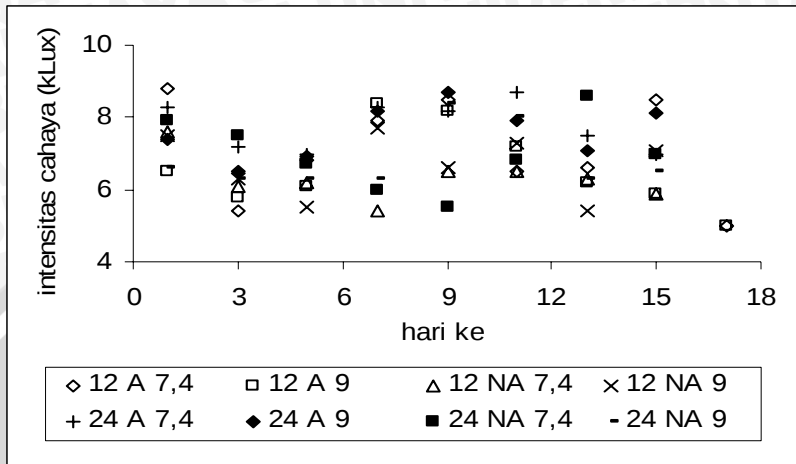
kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (t) yang tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa perlakuan yang paling menguntungkan untuk pertumbuhan *Microcystis* spp. dari Waduk Sutami adalah dengan aerasi, pH 7,4 dan lama penyinaran 12 jam/hari.

4.3.Faktor Abiotik setiap perlakuan aerasi, pH, dan lama penyinaran

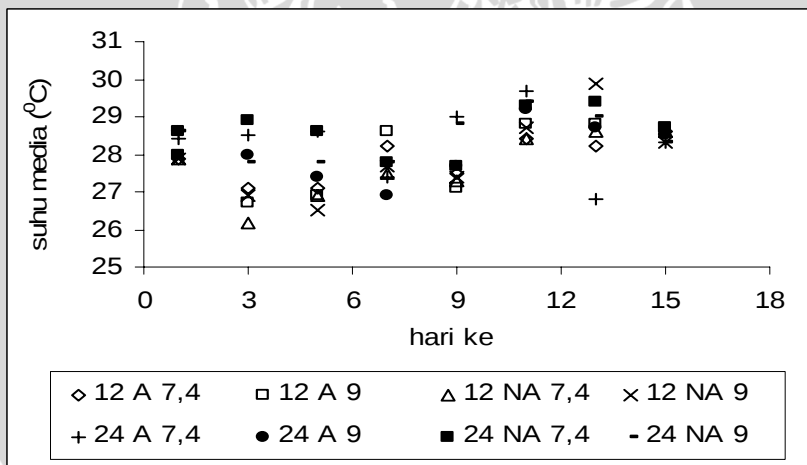
Selama penelitian diukur faktor abiotik meliputi intensitas cahaya, suhu media BG-11 dan suhu lingkungan, konduktivitas media BG-11, nilai pH media awal dan akhir, dan konsentrasi oksigen terlarut media BG-11. Rata-rata hasil pengamatan masing-masing dapat dilihat pada Gambar 6 – 11.

Gambar 6 menunjukkan nilai intensitas cahaya setiap perlakuan selama penelitian. Intensitas cahaya selama penelitian berkisar antara 5,0-8,8 kLux. Nilai intensitas cahaya tersebut masih dalam kisaran intensitas cahaya alami di Waduk Sutami pada tahun 2005 yaitu 0,17-20 kLux (Retnaningdyah dan Samino, 2005). Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang ada pada penelitian masih sesuai untuk pertumbuhan *Microcystis* dan bukan penyebab perbedaan hasil pertumbuhan pada semua perlakuan. Nilai intensitas cahaya selama penelitian tersebut juga masih berada pada kisaran intensitas cahaya yang diperlukan untuk laju pertumbuhan optimal sel *Microcystis aeruginosa* seperti yang ditulis oleh Oberholster dkk. (2003) yaitu sekitar 3,6-18 kLux.

Nilai suhu media BG-11 dan suhu lingkungan dari setiap perlakuan pH, aerasi, dan lama penyinaran berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai suhu media BG-11 pada semua perlakuan tidak berbeda jauh selama penelitian yaitu sekitar 26,1-29,9 °C. Sedangkan Gambar 8 menunjukkan bahwa suhu lingkungan penelitian pada semua perlakuan tidak berbeda jauh, yaitu sekitar 27,4-30,3 °C. Nilai suhu pada kedua tempat tersebut tidak berbeda dengan suhu pada tahun 2004-2006 di tempat *Microcystis* spp. diambil (Waduk Sutami) yaitu sekitar 27,6-32,1 °C.



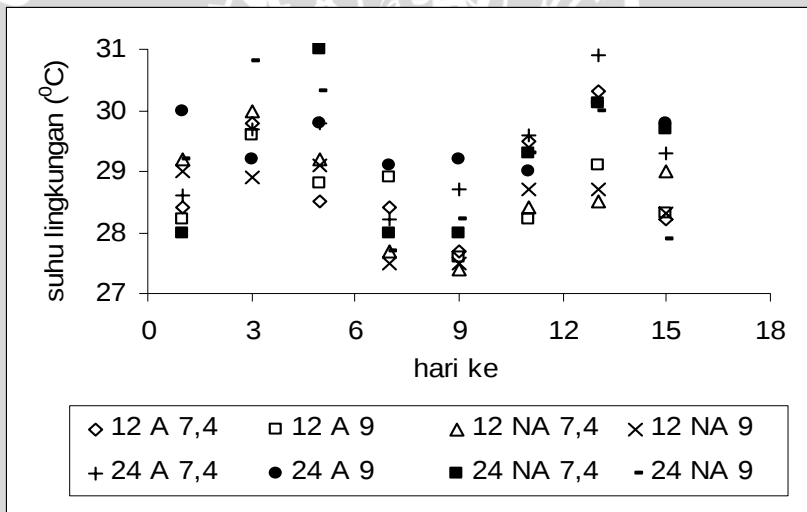
Gambar 6. Nilai intensitas cahaya (kLux) pada tiap perlakuan. Keterangan : 12 = lama penyinaran 12 jam, 24 = lama penyinaran 24 jam; A = Aerasi, NA = Non Aerasi; 7,4 = pH 7,4 dan 9 = pH 9.



Gambar 7. Nilai suhu media BG-11 ($^{\circ}\text{C}$) setiap perlakuan aerasi, pH, dan lama penyinaran.

Keterangan : 12 = lama penyinaran 12 jam, 24 = lama penyinaran 24jam; A = Aerasi, NA = Non Aerasi; 7,4 = pH 7,4 dan 9 = pH 9.

Suhu sangat berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air misalnya O_2 , CO_2 , N_2 , dan CH_4 . Selain itu peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air, dan selanjutnya mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu sebesar $10^\circ C$ menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen sehingga kadar oksigen terlarut turun dan kadar oksigen terlarut tidak mampu memenuhi kebutuhan organisme perairan untuk melakukan proses metabolisme dan respirasi (Haslam, 1995 dalam Effendi, 2003). Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah $20-30^\circ C$ (Effendi, 2003). Berdasarkan keterangan tersebut, suhu pada perlakuan masih dalam kategori optimum untuk mendukung kehidupan *Microcystis* spp.

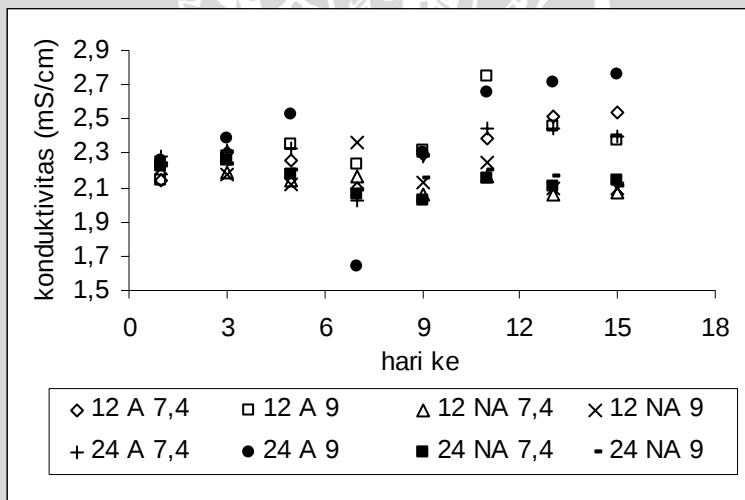


Gambar 8. Nilai suhu lingkungan pada tiap perlakuan.

Keterangan : 12 = lama penyinaran 12 jam, 24 = lama penyinaran 24 jam; A = Aerasi, NA = Non Aerasi; 7,4 = pH 7,4 dan 9 = pH 9.

Hasil pengukuran konduktivitas media BG-11 selama penelitian tercantum pada Gambar 9. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa

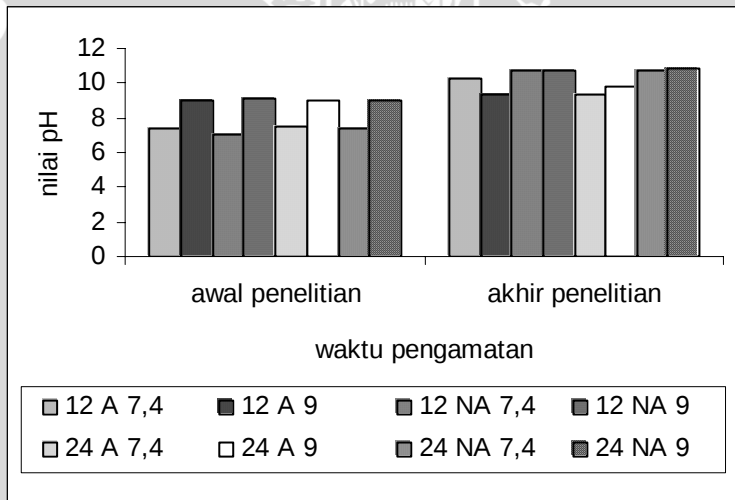
nilai konduktivitas media BG-11 pada semua perlakuan selama penelitian adalah sekitar 1,64-2,76 mS/cm. Nilai tersebut lebih tinggi dari konduktivitas Waduk Sutami saat pengambilan pengambilan sampel *Microcystis* spp. pada 22 Agustus 2007 (0,30-0,35 mS/cm). APHA (1976) dan Mackareth dkk.(1989) dalam Effendi (2003) menyatakan bahwa konduktivitas merupakan gambaran numerik dari kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik. Semakin tinggi nilai konduktivitas maka semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi. Brower dkk. (1990) menyatakan bahwa nilai konduktivitas yang tinggi dapat mengindikasikan perairan mengalami pencemaran. Sedangkan Joseph (2004) menyebutkan bahwa perairan tawar memiliki konduktivitas sekitar 0,1-0,3 mS/cm. Sedangkan Boyd (1988) menyatakan bahwa konduktivitas perairan alami adalah sekitar 20-1500 μ mhos/cm.



Gambar 9. Nilai konduktivitas pada tiap perlakuan.
Keterangan : 12 = lama penyinaran 12 jam, 24 = lama penyinaran 24 jam; A = Aerasi, NA = Non Aerasi; 7,4 = pH 7,4 dan 9 = pH 9.

Nilai pH media awal dan akhir perlakuan seperti tercantum pada Gambar 10. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada akhir

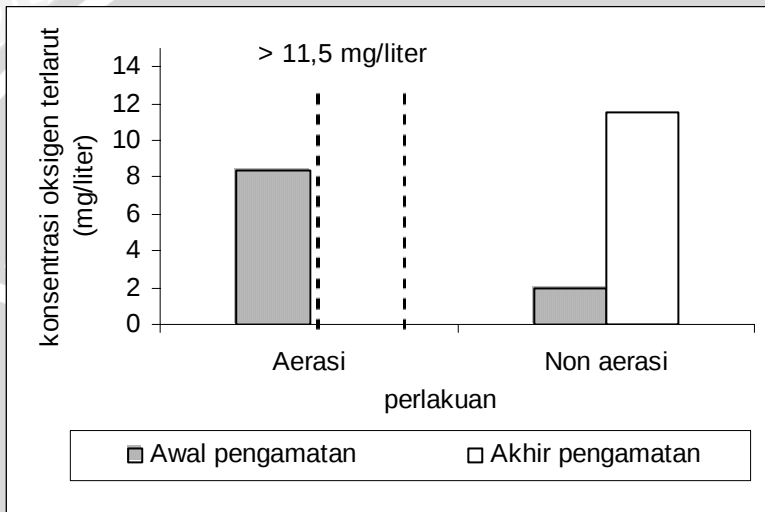
penelitian semua perlakuan pH mengalami kenaikan dan nilainya hampir sama, yaitu menjadi diatas 9,35-10,65. Proses perubahan pH perairan tawar menjadi asam atau basa dipengaruhi oleh keberadaan CO_2 sebagai komponen primer dari fotosintesis. Tanaman akuatik termasuk alga dan makrofita menggunakan CO_2 dan ion bikarbonat (HCO_3^-) dalam proses fotosintesis tersebut. Karbondioksida (CO_2) yang digunakan dalam proses fotosintesis dapat habis dan sebagai gantinya digunakan HCO_3^- . Ion OH^- yang dikeluarkan sebagai hasil dari penggunaan HCO_3^- terdapat dalam karbondioksida (CO_2) bebas yang mengendap dengan cepat (menjadi CaCO_3), yaitu bentukan deposit seperti kapur. Hasilnya adalah peningkatan pH sekitar 9-10 (Jeffries dan Mills, 1990). Hal tersebut didukung oleh pernyataan Tebbut (1992) dalam Effendi (2003) bahwa semakin tinggi pH berarti kadar CO_2 bebas semakin rendah.



Gambar 10. Nilai pH media BG-11 pada tiap perlakuan.
Keterangan : 12 = lama penyinaran 12 jam, 24 = lama penyinaran 24jam; A = Aerasi, NA = Non Aerasi; 7,4 = pH 7,4, dan 9 = pH 9.

Badan Kesehatan Dunia (1992) dalam Effendi (2003) menyatakan peruntukan kadar oksigen terlarut untuk kehidupan organisme akuatik adalah 5,0-9,0 mg/l. Gambar 11 menunjukkan

konsentrasi oksigen terlarut perlakuan aerasi di awal dan akhir perlakuan berturut-turut adalah 8,4 mg/liter dan lebih dari 11,5 mg/liter, sedangkan pada perlakuan non aerasi di awal dan akhir perlakuan berturut-turut adalah 2 mg/liter dan 11,5 mg/liter. Nilai kandungan oksigen terlarut yang lebih rendah pada awal perlakuan non aerasi adalah salah satu penyebab kelimpahan sel *Microcystis* lebih rendah dari pada perlakuan aerasi.



Gambar 11. Nilai konsentrasi oksigen terlarut dengan perlakuan aerasi dan non aerasi pada media BG-11.

Keterangan : Garis putus-putus perlakuan aerasi akhir pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi oksigen terlarut lebih dari 11,5 mg/liter.

Kenaikan kandungan oksigen terlarut pada semua perlakuan di akhir penelitian berkaitan dengan aktivitas *Microcystis* sebagai produsen utama pada media BG-11. Oksigen (O_2) terlarut hasil fotosintesis akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kelimpahan *Microcystis*. Menurut Effendi (2003) hal-hal yang mempengaruhi kandungan oksigen terlarut di perairan antara lain pencampuran (*mixing*), pergerakan (*turbulence*) massa air, aktifitas fotosintesis dan respirasi, dan limbah (*effluent*) yang masuk ke badan air. Berdasarkan penjelasan dari Effendi (2003) tersebut dapat

disimpulkan bahwa aktifitas fotosintesis yang dilakukan oleh *Microcystis* spp perlakuan menyebabkan peningkatan kandungan oksigen terlarut pada media.

Berdasarkan uraian tentang nilai faktor abiotik penelitian dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya buatan selama penelitian (5,0kLux - 8,8 kLux) masih dalam kisaran intensitas cahaya yang ada di Waduk Sutami (0,17kLux -20 kLux). Sedangkan nilai suhu media BG-11 pada semua perlakuan selama penelitian (26,1°C-29,9°C) lebih rendah dari suhu lingkungan penelitian (27,4-30,3 °C). Nilai suhu media BG-11 tersebut diduga merupakan salah satu pemicu pertumbuhan *Microcystis* perlakuan karena menurut Reynold (1984) dalam Roberts dan Zohary (1987), peningkatan laju pertumbuhan *Microcystis* terjadi pada suhu antara 25°C-40°C. Nilai konduktivitas media BG-11 pada semua perlakuan selama penelitian lebih tinggi dari nilai konduktivitas Waduk Sutami saat pengambilan sampel pada 22 Agustus 2007 (Tabel 3 di Lampiran 1). Sedangkan nilai pH semua perlakuan pH 7,4 dan 9, dan konsentrasi oksigen terlarut perlakuan aerasi dan non aerasi di akhir perlakuan mengalami kenaikan. Hal tersebut diduga terjadi karena aktivitas metabolisme *Microcystis* spp.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kurva pertumbuhan *Microcystis* spp. pada penelitian ini memberikan hasil bahwa secara umum fase lag memerlukan waktu yang sama pada *Microcystis* spp. semua perlakuan, yaitu satu hari. Fase log pada *Microcystis* spp. dengan penyinaran 12 jam/hari lebih lama dari *Microcystis* spp. dengan penyinaran 24 jam/hari. Sedangkan fase stasioner sel *Microcystis* spp. pada beberapa perlakuan tidak terdeteksi. Fase kematian paling lama terjadi pada sel *Microcystis* spp. perlakuan aerasi, pH 9, penyinaran 12 jam/hari, yaitu setelah hari ke 21 dan paling cepat pada perlakuan non aerasi pH 9 penyinaran 24 jam/hari, yaitu setelah hari ke 4.
2. Kelimpahan sel *Microcystis* spp. maksimum (K) yang bisa didukung oleh media BG-11 terbanyak terjadi pada perlakuan aerasi pH 7,4 penyinaran 12 jam/hari yaitu $152-189.10^6$ sel/ml, K lebih sedikit terjadi pada perlakuan aerasi pH 9 lama penyinaran 12 jam/hari dan aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 24 jam/hari yaitu $36-90.10^6$ sel/ml, sedangkan K paling sedikit terjadi pada semua perlakuan tanpa aerasi yaitu $6-12.10^6$ sel/ml.
3. Perlakuan aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 12 jam/hari memerlukan waktu untuk mencapai kelimpahan maksimum *Microcystis* spp. (t) paling lama, masing-masing yaitu 20 dan 21 hari, t lebih singkat terjadi pada perlakuan aerasi pH 7,4 lama penyinaran 24 jam/hari, dan non aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 12 jam/hari masing-masing 7, 9, dan 11 hari, sedangkan t paling singkat terjadi pada perlakuan aerasi pH 9 penyinaran 24 jam/hari dan tanpa aerasi pH 7,4 dan 9 penyinaran 24 jam/hari masing-masing empat hari.
4. Konsentrasi oksigen terlarut perlakuan aerasi di awal dan akhir perlakuan berturut-turut adalah 8,4 mg/liter dan lebih dari 11,5 mg/liter, sedangkan pada perlakuan non aerasi di awal dan akhir perlakuan berturut-turut adalah 2 mg/liter dan 11,5 mg/liter. Nilai akhir perlakuan pH 7,4 adalah sekitar 9,4-10,74 sedangkan nilai akhir perlakuan pH 9 adalah sekitar 9,35-10,85. Faktor abiotik lain yang meliputi intensitas cahaya di

luar penelitian, suhu media, suhu lingkungan, dan konduktivitas relatif stabil selama penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka dapat disarankan bahwa metode kultur *Microcystis* spp. dengan tujuan untuk mendapatkan kelimpahan sel yang tinggi dapat dilakukan dengan media BG-11 yang diberi perlakuan aerasi dengan pH 7,4 lama penyinaran 12 jam/hari.



DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo, I.E. 1996. Cliffs Quick Review : Microbiology. Wiley Publishing, Inc. New York.
- Aquaculture. 1999. The Importance of Pond Ecology in Aquaculture Ponds. Primary Industries and Resources South Australia.
- Boyd, C. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier Scientific Publishing Company. New York.
- Brock, T. D., M. T. Madigan, J. M. Martinko, J. Parker. 1994. Biology Of Microorganisms. Prentice Hall. New Jersey.
- Brower, J.E., J.H.Zar, dan C.N. Von Ende. 1990. Field And Methods for General Ecology, Third Edition. W.M.C.Brown Publisher. Dubuque. 237 hal
- Christoffersen, K., S.Lyck, A.Winding. 2002. Microbial activity and bacterial community structure during degradation of microcystins. Journal Aquatic Microbial Ecology. Vol. 27: 125–136.
- Cyanosite. 1997. *Microcystis*. <http://www.cyanosite.bio.purdue.edu>. Tanggal Akses 25 Februari 2007.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan Perairan. Kanisius. Yogyakarta.
- Ewusie, J.Y. 1990. Pengantar Ekologi Tropika. Diterjemahkan oleh: Usman Tanuwidjaja. Penerbit ITB. Bandung.
- Fontaine, B. 2004. Compendium : Diamond Lake Restoration Final Environment Impact Statement. Umpqua National Forest. Umpqua.
- Goldman, C.R. dan A.J. Horne. 1983. Limnology. Mc Graw Hill International Book Co. New York.

Grobelaar, J. U., E. Botes; J. A. Van den Heever, A. M. Oberholster dan P. J. Oberholster. 2004. Toxin Production By Cyanobacteria, Report to the Water Research Commission, on the project : Scope and Dynamics of Toxins Produced by Cyanophytes in the Freshwaters of South Africa and the Implications for Human and Other Users. Water Research Commission Report No: 1029/1/04 Vol 9.

Hargreaves, J.A., 2003. Pond Mixing. Southern Regional Aquaculture Center Fact sheet. United States Department of Agriculture.

Harper, D.1992. Eutrophication of Fresh Water. Chapman and Hall. London.

Hawkes, H.A. 1979. Invertebrates as Indicators of River Water Quality dalam James, A. dan L. Evison (ed). Principles and Methods For Determining Ecological Criteria on Hydrobiocenoses. Pergamon Press. New York : 45 – 73.

Holt, J.G., N.R.Krieg, P.H.A.Sneath, J.T.Staley, dan S.T.Williams. 2000. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Ninth Edition. Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia.

Hynes, H.B.N. 1963. Imported Organic Matter Secondary Productivity in Stream. Int. Congress Zool.

Jeffries, M. dan Mills, D. 1990. Freshwater Ecology. Belhaven Press. London

Joseph, D. 2004. Metal Finishing Guidebook & Directory : Conserve Water with Conductivity Meters. Elsevier, Inc.

Joung, S. H., J. Kim, C. Y. Ahn, K. Y. Jang, S. M. Boo dan H. M. Oh. 2006. Simple Method for A Cell Count of The Colonial Cyanobacterium *Microcystis* sp. *The Journal of Microbiology*. P. 562-565

- Kirke, B.K. 2001. Pumping Downwards to Pervent Algal Blooms. Poster Presentation, IWA 2nd World Water Congress. Berlin.
- Kurmayer, R., G. Christiansen, dan I. Chorus. 2003. The Abundance of Microcystin-Producing Genotypes Correlates Positively with Colony Size in *Microcystis* sp. and Determines Its Microcystin Net Production in Lake Wannsee. Journal Applied And Environmental Microbiology, Vol. 69, No. 2. Feb. 2003, p. 787-795.
- Lakitan, B. 2004. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. PT Radja Grafindo Persada. Jakarta.
- Madigan, M. T., J. M. Martinko dan J. Parker. 2003. Brock Biology of Microorganism. Tenth Edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Margulis, L. Dan K.V. Schwartz. 1982. Five Kingdoms : An Illustrated Guide to The Phyla of Life on Earth, Third Edition. Henry Holt and Company. New York.
- Maryland Departement of Natural Resources. 2007. Harmful Algae Bloom: *Microcystis*. [http:// www. dnr. state. md.us /Bay/ hab/ microcystis2.html](http://www.dnr.state.md.us/Bay/hab/microcystis2.html). Tanggal akses 8 Februari 2007
- Mur, L.R., Luuc R. Mur, O.M. Skulberg dan H.Utkilen. 1999. Toxic Cyanobacteria In Water: A Guide To Their Public Health Consequences, Monitoring And Management : Chapter 2. Cyanobacteria in the environment. World Health Organization.
- NIES. 2007. Cyanobacteria Image. <http://www.nies.go.jpg>. Tanggal akses 06 Juli 2007.
- Oberholster, P.J., Botha A. M., dan Grobbelaar J.U. 2003. *Microcystis aeruginosa*: Source of Toxic Microcystins in Drinking Water. African Journal Biotechnology. 3: 159-168.

- Oberholster, P.J. 2006. Monitoring Toxicity in Raw Water of the Cache la Poudre River and Sheldon Lake, Colorado, USA using Biomarkers and Molecular Marker Technology. Thesis. Department of Microbiology and Plant Pathology, Faculty of Agricultural and Agricultural Sciences, University of Pretoria. Pretoria.
- Odum, P.E. 1971. Fundamentals Of Ecology. Saunders College Publishing. Georgia
- Otsuka, S., S. Suda, R. Li, S. Matsumoto, dan M.W. Watanabe. 2000. Morphological variability of colonies of *Microcystis* morphospecies in culture. Journal Gen. Appl. Microbiol., 46, page 39–50.
- Palmer, M.A. dan D.B.Roy. 2001. An Estimate of The Extent of Dystrophic, Oligotrophic, Mesotrophic, and Eutrophic standing fresh water in Great Britain. Joint Nature Conservation Committee Report. Peterborough.
- Payne, A.I. 1986. The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley and Sons Ltd. New York.
- Pelczar, M.J., E.c.S. Chan dan N.R. Krieg. 1986. Microbiology 5th edition. Mc Graw Hill Book Company. London.
- Prescott, L.M., J.P.Harley, D.A.Klein. 2002. Microbiology Fifth edition. Mc Graw Hill. Boston.
- Ramirez, J.J. dan C.E.M.Bicudo. 2005. Diurnal and Spatial (Vertical) Dynamics of Nutrient (N,P,Si) in Four Sampling Days (Summer, Fall, Winter, and Spring) in A Tropical Shallow Reservoir and Their Relationship with The Phytoplankton Community. *Braz.J.Biol.* 65 (1):141-157
- Raps, S., K. Wyman, H.W. Siegelman, dan P. G. Falkowski. 1983. Adaptation of the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* to Light Intensity. Journal Plant Physiol. 72:829-832.

Rao, L., Bhaskar, dan Bhattacharya. 1996. Effect of Nutrient Media And Culture Duration on Growth, Macromolecular Composition and Toxicity in Batch Culture of *Microcystis Aeruginosa*. Journal of Microbios Vol. 86.

Repka, S., M.Koivula, V. Harjunpa, L.Rouhiainen, dan K. Sivonen. 2004. Effects of Phosphate and Light on Growth of and Bioactive Peptide Production by the Cyanobacterium *Anabaena* Strain 90 and Its Anabaenopeptilide Mutant. Journal Applied And Environmental Microbiology, Vol. 70, No. 8. Aug. 2004, p. 4551–4560 .

Retnaningdyah, C. , Prayitno, Y. Rosyitawati, M.Y.C Dewi, A.N. Hartini, 2002. Potensi Mikroalga sebagai Bioindikator Tingkat Pencemaran Bahan Organik di Perairan Waduk. National Seminar on Research and Studies Research Grant conducted by Ministry of National Education, Directorate General of Higher Education, TPSDP, Jakarta December 27-28.

Retnaningdyah, C. dan S. Samino. 2005. Monitoring Dinamika Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton di Waduk Sutami Malang Periode Bulan Januari – Desember 2005. Laporan Penelitian Kerjasama Perum Jasa Tirta I dengan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Sertifikat No. ID03/0127

Retnaningdyah, C. dan S. Samino. 2006. Monitoring Dinamika Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton di Waduk Sutami Malang Periode Bulan Januari – Maret 2006. Laporan Penelitian Kerjasama Perum Jasa Tirta I dengan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Sertifikat No. ID03/0127

Robarts,R.D. dan T.Zohary. 1987. Temperature Effects on Photosynthetic Capacity, Respiration, and Growth Rates of Bloom-Forming Cyanobacteria. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research.Vol. 21: 391-399.

- Rolland, A., D.F. Bird dan A. Giani. 2005. Seasonal Changes in Composition of The Cyanobacterial Community and The Occurrence of Hepatotoxic Blooms in The Eastern Township, Quebec, Canada. *Journal of Plankton Research*. Vol 27. 683-694
- Samino, S. dan C. Retnaningdyah. 2004. Monitoring Dinamika Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton di Waduk Sutami Malang Periode Bulan Oktober – Desember 2004. Laporan Penelitian Kerjasama Perum Jasa Tirta I dengan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Sertifikat No. ID03/0127
- Seroka, G. 2004. The Relationship Between Dissolved Oxygen, Nitrate, and Phosphate Concentrations and Chlorophyll a Concentrations In the Rhode River, a Sub-Estuary of the Chesapeake Bay : *Oceanography Research*. Thomas Jefferson High School for Science and Technology. Alexandria.
- Smith R.L. 1990. *Ecology and Field Biology*, Fourth Edition. Harper Collins Publishers.
- Stern, K.R., S.Jansky, dan J.E. Bidlack. 2003. *Introductory Plant Biology*. McGraw Hill. New York.
- Tilzer, M.M. 1987. Light Dependence of Photosynthesis and Growth in Cyanobacteria: Implications for Their Dominance in Eutrophic Lakes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. Vol. 21: 401-412
- Vaitomaa, J. 2006. The Effects of Environmental Factors on Biomass and Microcystin Production by the Freshwater Cyanobacterial Genera *Microcystis* and *Anabaena*. Division of Microbiology Department of Applied Chemistry and Microbiology University of Helsinki Finland. Academic Dissertation in Microbiology

Vermaas, W.F.J. 2001. Photosynthesis and Respiration in Cyanobacteria. Encyclopedia of Life Sciences. Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group. Arizona

Watanabe, M. F. dan S. Oishi. 1985. Effects of Environmental Factors on Toxicity of a Cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*) under Culture Conditions. Applied and Environmental Microbiology, May 1985, p. 1342-1344 49, No. 5

Wedge, V. 2004. The Correlation Between Algal Population and Dissolved Oxygen : A Research Paper. Science Department Of Charles Herbert Flowers High School. Maryland.

Whitton, B. A. 1975. Studies in Ecology Vol. 2 : Rivers Ecology. University of California Press. Berkeley.

Yoshinaga, I., T. Hitomi, A. Miura, E. Shiratani, dan T. Miyazaki. 2006. Cyanobacterium *Microcystis* Bloom In A Eutrophicated Regulating Reservoir. JARQ 40 (3), 283 – 289

Yupeng L. 2006. Effects of Salinity on the Growth and Toxin Production of a Harmful Algal Species, *Microcystis aeruginosa*. Journal Water Environment Federation Volume 1.

Zebenboom, Wanda. L.R.Mur. 1984. Growth and photosynthetic response of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in relation to photoperiodicity and irradiance. Arch Microbiol 232-239.

LAMPIRAN 1

Tabel 2. Pengamatan kisaran kualitas air Waduk Sutami pada tahun 2004 hingga tahun 2006 (Sumber Samino dan Retnaningdyah, 2004, 2005, dan 2006).

Parameter	Nilai kualitas air			NBM Kelas II PP No.82 tahun 2001
	Tahun 2004	Tahun 2005	Tahun 2006	
Suhu (°C)	28-30,97	27,6-32,1	28,35-30,20	Deviasi 3
pH	6,97-8,1	7,9-9,6	8,4-9,0	6 s.d 9
DO	3,2-9,45	5,3-10,3	-	> 4
Intensitas cahaya (Klux) 25-50 cm	-	0,17->20	7,71-9,16	-
BOD (mg/L)	4,3-9,6	4,7-27,4	5,4-9,2	3
COD (mg/L)	10,19-27,23	12,4-106,4	17,1-28,3	25
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,64-11,07	0,30-10,2	1,58-5,2	10
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	17,34-19,12	8,75-19,26	8,08-13,01	-
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,04-0,8	0,059-0,8	0,067-0,2	0.06
PO ₄ total (mg/L)	0,005-0,36	0,008-1,9	0,012-0,36	0.2

Tabel 3. Hasil pengukuran kualitas air Waduk Sutami pada saat pengambilan sampel *Microcystis* spp. untuk perlakuan (22 Agustus 2007)

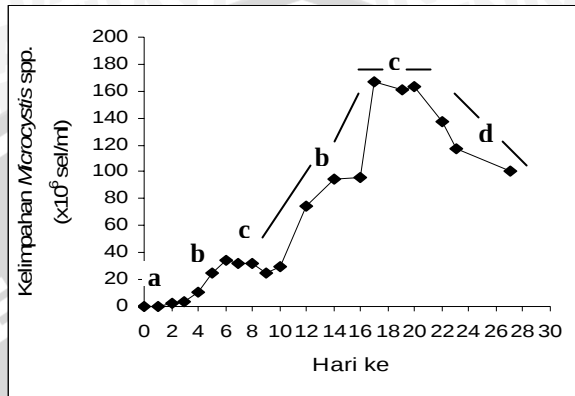
	Nitrat (mg/L)	Suhu (°C)	pH	Konduktivitas (mS/cm)	Kecerahan (cm)
Stasiun 1	5,0206	26,4	8,44	0,35	67
Stasiun 2	2,9161	26,5	8,53	0,31	73
Stasiun 3	2,3934	26,5	8,51	0,30	103

LAMPIRAN 2

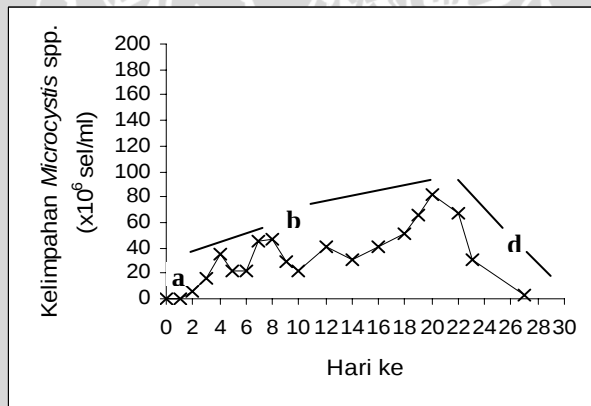
Tabel 4. Komposisi media BG 11(Sumber : Rao dkk., 1996)

Bahan	Komposisi
NaNO_3	1,5 g/l
K_2HPO_4	0,04 g/l
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,075 g/l
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,036 g/l
<i>Citric acid</i>	0,006 g/l
<i>Ferric citrate</i>	0,006 g/l
EDTA	0,001 g/l
Na_2CO_3	0,02 g/l
<i>Trace metal solution :</i>	1 ml
- H_3BO_3	2,86 g/l
- $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,81 g/l
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,222 g/l
- $\text{Na MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,390 g/l
- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,079 g/l
- $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,0494 g/l

LAMPIRAN 3

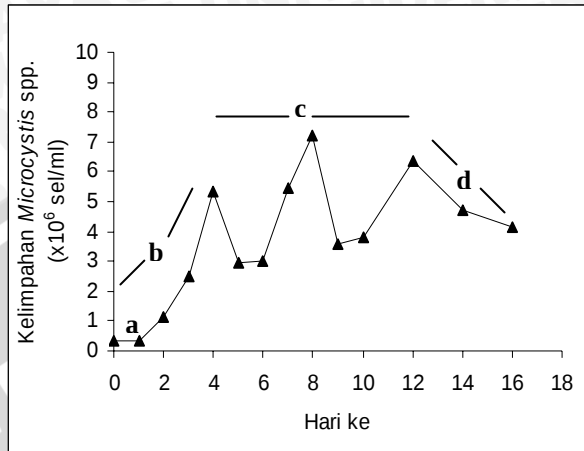


Gambar 12. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 12 jam/hari

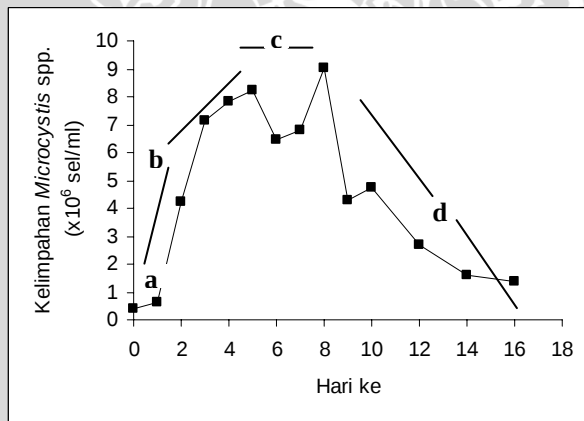


Gambar 13. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan aerasi, pH 9 , lama penyinaran 12 jam/hari

Keterangan gambar 12 dan 13 : a = fase lag; b = fase log; c = fase stasioner; d = fase kematian

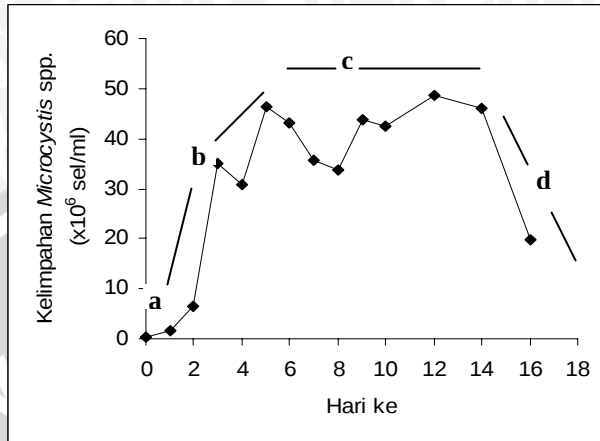


Gambar 14. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan non aerasi, pH 7,4, lama penyinaran 12 jam/hari

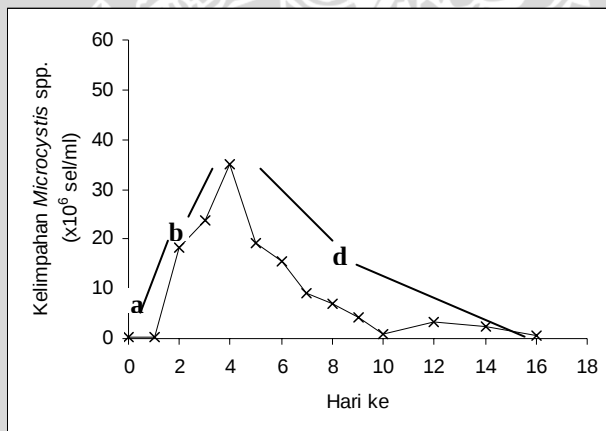


Gambar 15. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan non aerasi, pH 9, lama penyinaran 12 jam/hari

Keterangan gambar 14 dan 15 : a = fase lag; b = fase log; c = fase stasioner; d = fase kematian

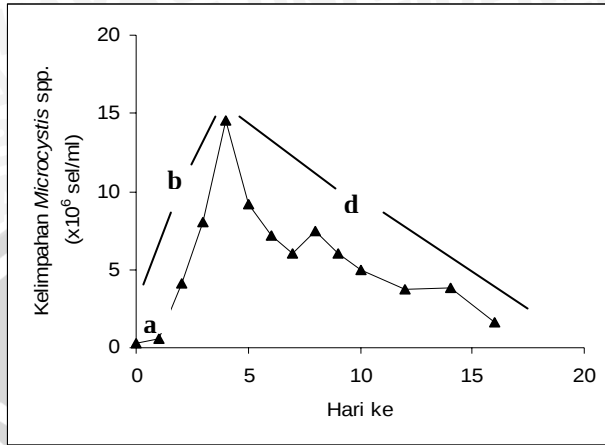


Gambar 16. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan aerasi, pH 7,4 , lama penyinaran 24 jam/hari

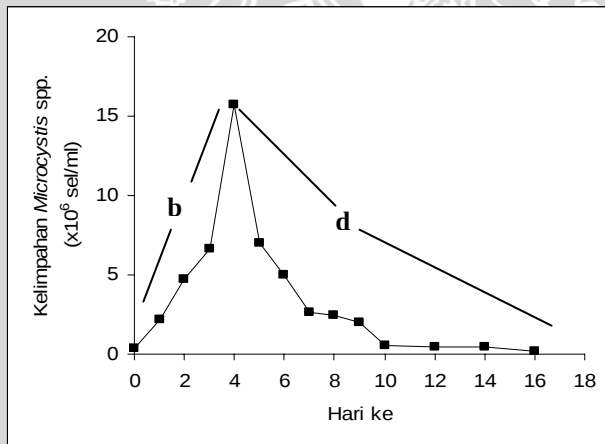


Gambar 17. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan aerasi, pH 9 , lama penyinaran 24 jam/hari

Keterangan gambar 16 dan 17 : a = fase lag; b = fase log; c = fase stasioner; d = fase kematian



Gambar 18. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan non aerasi, pH 7,4, lama penyinaran 24 jam/hari



Gambar 19. Fase –fase pada kurva pertumbuhan sel *Microcystis* spp. perlakuan non aerasi, pH 9, lama penyinaran 24 jam/hari

Keterangan gambar 18 dan 19 : a = fase lag; b = fase log; c = fase stasioner; d = fase kematian

LAMPIRAN 4

Tabel 5. Hasil uji ANOVA terhadap K yang bisa didukung oleh media BG-11 antar perlakuan pH dan aerasi pada penyinaran 12 jam/hari dan 24 jam/hari

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	70544,760(a)	7	10077,823	27,204	,000
Intercept	55267,204	1	55267,204	149,186	,000
LAMA PENYINARAN	11021,020	1	11021,020	29,750	,000
PERLAKUAN	42425,445	3	14141,815	38,174	,000
LAMA PENYINARAN* PERLAKUAN	17098,295	3	5699,432	15,385	,000
Error	5927,327	16	370,458		
Total	131739,290	24			
Corrected Total	76472,086	23			

Tabel 6. Hasil uji ANOVA terhadap waktu untuk mencapai K antar perlakuan pH dan aerasi pada lama penyinaran 12 jam/hari dan 24 jam/hari

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1027,833(a)	7	146,833	42,976	,000
Intercept	2521,500	1	2521,500	738,000	,000
LAMA PENYINARAN	433,500	1	433,500	126,878	,000
PERLAKUAN	421,833	3	140,611	41,154	,000
LAMA PENYINARAN* PERLAKUAN	172,500	3	57,500	16,829	,000
Error	54,667	16	3,417		
Total	3604,000	24			
Corrected Total	1082,500	23			

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

