

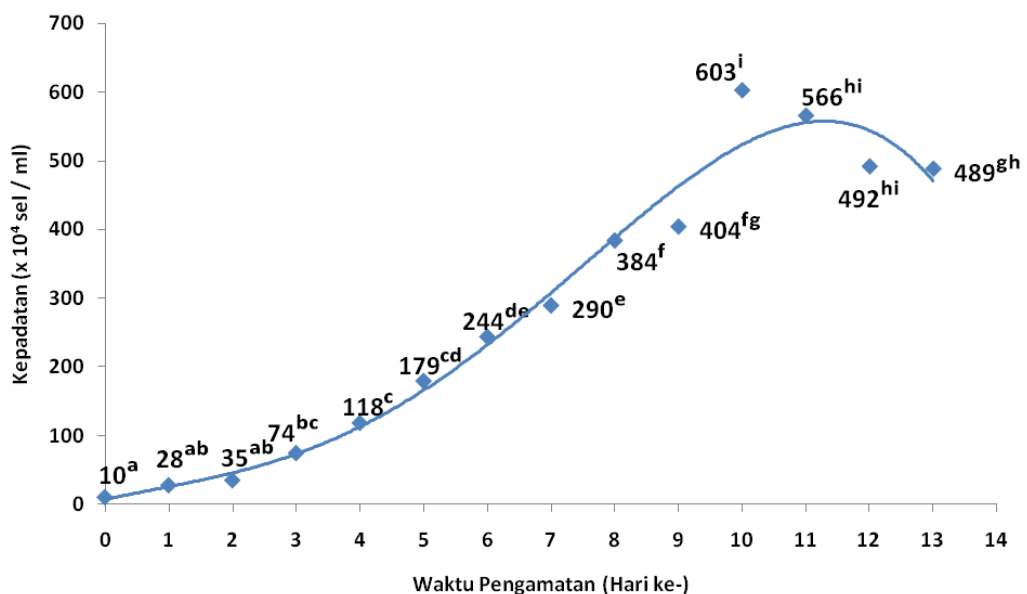
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. pada Perbedaan Salinitas

Pertumbuhan kultur *Nannochloropsis* sp diketahui dengan menghitung kepadatan selnya setiap 24 hari sekali. Hasil dari perhitungan pertumbuhan sel *Nannochloropsis* sp disajikan pada Gambar 5, 6 dan 7.



Gambar 5. Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp pada perlakuan media bersalinitas 15 ppt.

Berdasarkan gambar 5 diatas menunjukkan bahwa perlakuan dengan media bersalinitas 15 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. berpola polynomial. Pola pertumbuhan tersebut terdiri dari 4 fase yaitu fase lag, eksponensial, stasioner dan kematian. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa fase lag atau disebut juga dengan fase penyesuaian pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. terdapat pada hari ke 0 hingga hari ke 2 dengan

kepadatan sel pada hari ke 0, 1 dan 2 tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$) yaitu sebesar 10×10^4 sel/ml hingga 35×10^4 sel/ml.

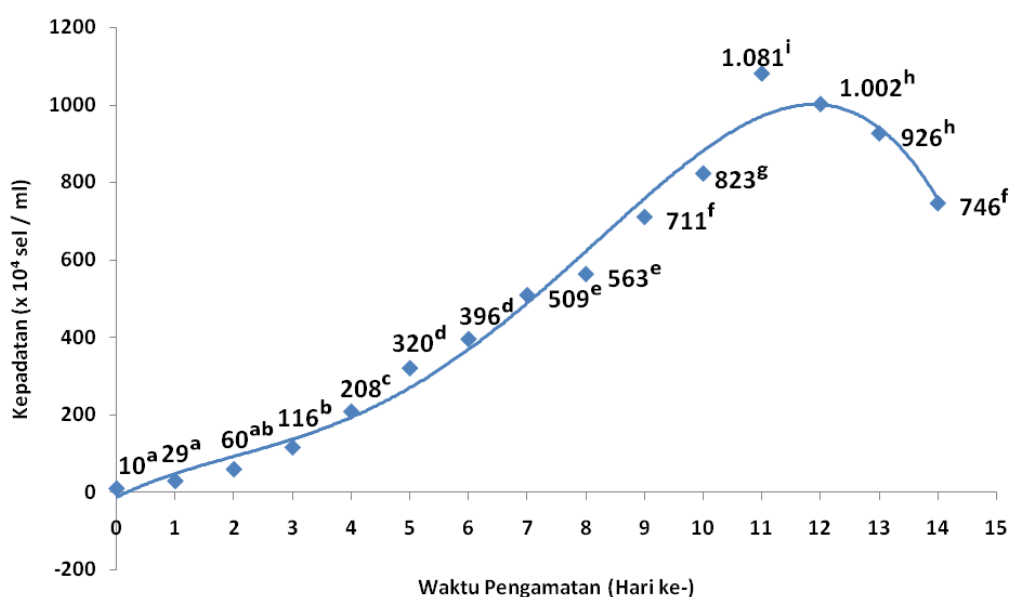
Fase eksponensial atau fase log pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 2 hingga hari ke 10 dengan kepadatan sel 35×10^4 sel/ml hingga 603×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan terbentuk kelompok yaitu kepadatan sel pada hari ke 2 dan 3, hari ke 3 – 5, hari ke 6 dan 7, hari ke 8 dan 9, masing – masing tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$), namun berbeda nyata antar kelompok perlakuan ($p < 0,05$).

Fase stasioner pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 11 hingga hari ke 12 dengan kepadatan sel 356×10^4 sel/ml hingga 492×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 11 sampai dengan hari ke 12 tidak berbeda secara nyata ($p \geq 0,05$).

Fase kematian *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 12 hingga hari ke 13 dengan kepadatan sel 492×10^4 sel/ml hingga 489×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 12 sampai dengan hari ke 13 mengalami penurunan ($p \geq 0,05$).

Kepadatan sel pada perlakuan media bersalinitas 15 ppt mengalami perubahan ditiap hari pengamatan. Perubahan tersebut adalah peningkatan kepadatan sel dan penurunan kepadatan sel. Peningkatan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $7,16 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $198,76 \times 10^4$ sel/ml. Sedangkan penurunan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $-3,47 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $-73,96 \times 10^4$ sel/ml.

Perlakuan media salinitas 15 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = -0,001 x^5 - 0,052 x^4 + 1,155 x^3 - 1,290 x^2 + 16,90 x + 8,517$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 0,976$. Kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa terdapat puncak pertumbuhan dengan kepadatan tertinggi pada hari pengamatan ke 10 yaitu sebesar 603×10^4 sel/ml.



Gambar 5. Pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 20 ppt.

Berdasarkan gambar 5 diatas menunjukkan bahwa perlakuan dengan media bersalinitas 20 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* berpola polynomial. Pola pertumbuhan tersebut terdiri dari 4 fase yaitu fase lag, eksponensial, stasioner dan kematian. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa fase lag atau disebut juga dengan fase penyesuaian pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 0 hingga hari ke 2 dengan

kepadatan sel pada hari ke 0, 1 dan 2 tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$) yaitu sebesar 10×10^4 sel/ml hingga 60×10^4 sel/ml.

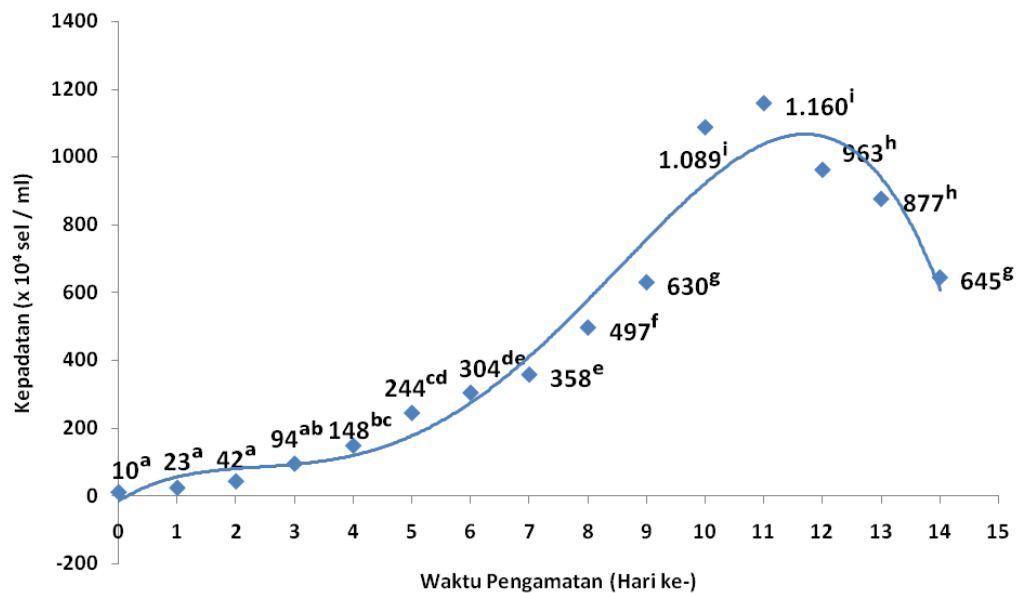
Fase eksponensial atau fase log pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 2 hingga hari ke 11 dengan kepadatan sel 60×10^4 sel/ml hingga 1081×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan kelompok kepadatan sel pada hari ke 2 dan 3; 5 dan 6; 7 dan 8 tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$), tetapi antar kelompok tersebut, hari ke 4, 10 dan 11 saling berbeda nyata ($p < 0,05$).

Fase stasioner *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 12 hingga hari ke 13 dengan kepadatan sel 1002×10^4 sel/ml hingga 926×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 12 dan 13 tidak berbeda secara signifikan ($p \geq 0,05$).

Fase kematian *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 13 hingga hari ke 14 dengan kepadatan sel 926×10^4 sel/ml hingga 746×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 13 dan 14 mengalami penurunan secara signifikan ($p < 0,05$).

Kepadatan sel pada perlakuan media bersalinitas 20 ppt mengalami perubahan ditiap hari pengamatan. Perubahan tersebut adalah peningkatan kepadatan sel dan penurunan kepadatan sel. Peningkatan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $19,24 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $257,98 \times 10^4$ sel/ml. Sedangkan penurunan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $-75,4 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $-180,56 \times 10^4$ sel/ml.

Perlakuan media salinitas 20 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = -0,196 x^4 + 4,010 x^3 - 19,15 x^2 + 76,70 x - 14,05$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 0,985$. Kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa terdapat puncak pertumbuhan dengan kepadatan tertinggi pada hari pengamatan ke 11 yaitu sebesar 1081×10^4 sel/ml.



Gambar 6. Pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 25 ppt.

Berdasarkan gambar 6 diatas menunjukkan bahwa perlakuan dengan media bersalinitas 25 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* berpola polynomial. Pola pertumbuhan tersebut terdiri dari 4 fase yaitu fase lag, eksponensial, stasioner dan kematian. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa fase lag atau disebut juga dengan fase penyesuaian pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 0 hingga hari ke 3

dengan kepadatan sel pada hari ke 0, 1, 2 dan 3 tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$) yaitu sebesar 10×10^4 sel/ml hingga 94×10^4 sel/ml.

Fase eksponensial atau fase log pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 4 hingga hari ke 11 dengan kepadatan sel 148×10^4 sel/ml hingga 1160×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan kelompok kepadatan sel pada hari ke 4 dan 5, hari ke 5 dan 6, hari ke 6 dan 7, hari ke 10 dan 11, tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$). Tetapi antar kelompok tersebut saling berbeda signifikan ($p < 0,05$).

Fase stasioner *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 12 hingga hari ke 13 dengan kepadatan sel 963×10^4 sel/ml hingga 877×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 12 dan 13 tidak secara signifikan ($p \geq 0,05$).

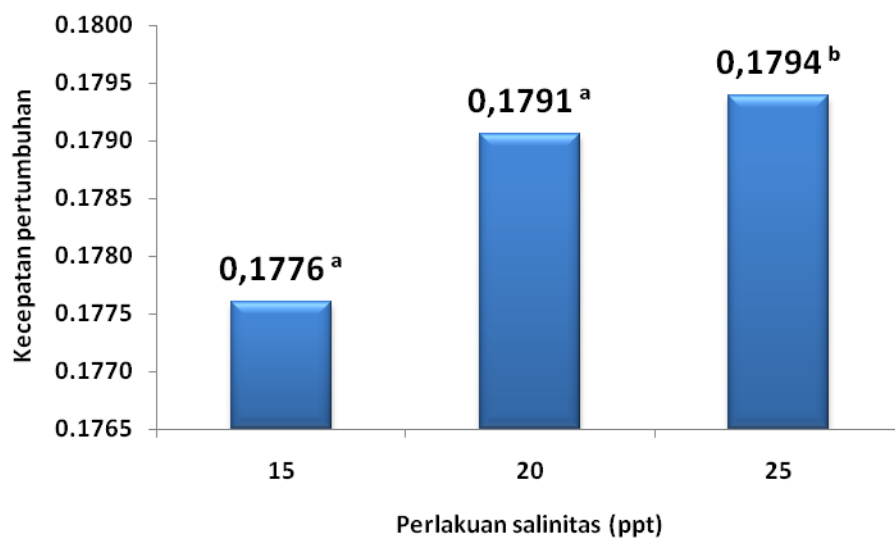
Fase kematian *Nannochloropsis sp.* terdapat pada hari ke 13 hingga hari ke 14 dengan kepadatan sel 877×10^4 sel/ml hingga 645×10^4 sel/ml. Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kepadatan sel pada hari ke 13 dan 14 mengalami penurunan secara signifikan ($p < 0,05$).

Kepadatan sel pada perlakuan media bersalinitas 25 ppt mengalami perubahan ditiap hari pengamatan. Perubahan tersebut adalah peningkatan kepadatan sel dan penurunan kepadatan sel. Peningkatan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $13,00 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $458,18 \times 10^4$ sel/ml. Sedangkan penurunan kepadatan sel tersebut memiliki data dengan rentang $-85,8 \times 10^4$ sel/ml sampai dengan $-232,27 \times 10^4$ sel/ml.

Berdasarkan perlakuan media salinitas 25 ppt memberikan respon pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = -0,006 x^5 - 0,131 x^4 + 5,114 x^3 - 30,34 x^2 + 83,04 x - 10,29$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 0,959$. Kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa terdapat puncak pertumbuhan dengan kepadatan tertinggi pada hari pengamatan ke 11 yaitu sebesar 1160×10^4 sel/ml.

4.1.2. Kecepatan Pertumbuhan *Nannochloropsis sp.*

Nilai kecepatan pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* didapatkan dengan membandingkan kepadatan awal dengan hari ke-n sesuai dengan rumus perhitungan kecepatan pertumbuhan yang digunakan oleh Hirata *et al.*, (1981). Kecepatan pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* diperoleh melalui perhitungan kepadatan setiap harinya hingga hari pemanenan kultur skala laboratorium dengan perlakuan salinitas yang berbeda disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kecepatan pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

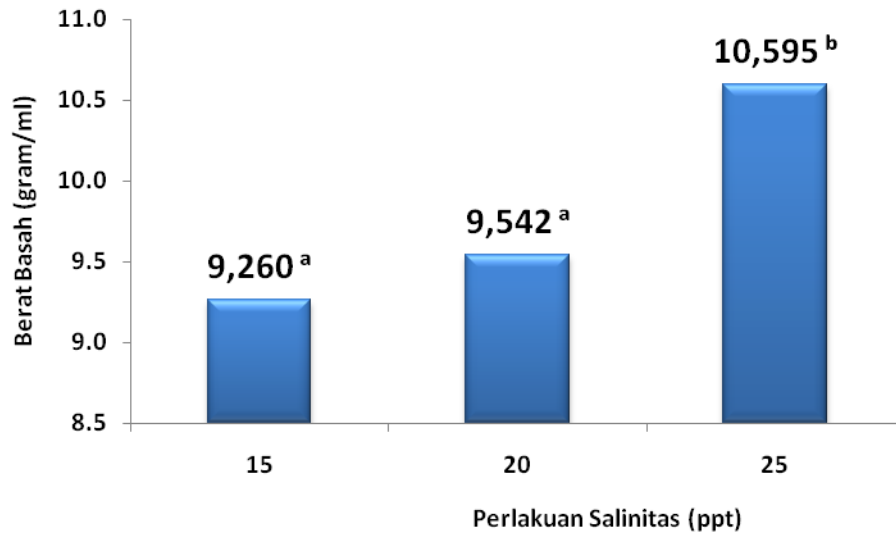
Berdasarkan (Gambar 7) kecepatan pertumbuhan tertinggi terjadi pada perlakuan 25 ppt dengan nilai 0,1794 sel/hari, sedangkan perlakuan salinitas 15 ppt dan 20 ppt memiliki nilai kecepatan pertumbuhan sebesar 0,1776 sel/hari dan 0,1791 sel/hari. Peningkatan salinitas dari 15 ppt ke 20 dan 25 ppt.

Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon laju pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = -0,001 x^2 + 0,003 x + 0,175$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 1$. Nilai laju pertumbuhan menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 25 ppt dan respon terendah pada perlakuan 15 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa laju pertumbuhan pada perlakuan salinitas 15 dan 20 mengalami peningkatan tidak secara signifikan ($p \geq 0,05$) yaitu sebesar 0,820 %, tetapi kepadatan sel tersebut mengalami peningkatan secara signifikan terhadap perlakuan salinitas 25 ppt ($p < 0,05$), yaitu sebesar 1,009 % terhadap salinitas 15 ppt dan sebesar 0,187 % terhadap salinitas 20 ppt.

4.1.3. Berat Basah Biomassa *Nannochloropsis sp.*

Berdasarkan hasil penelitian *Nannochloropsis sp.* yang dikultur dengan perlakuan salinitas pada skala laboratorium untuk memproduksi biomassa yang disajikan pada gambar 8.



Gambar 8. Berat basah biomassa *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

Berdasarkan (Gambar 7) menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan salinitas memberikan respon berat basah biomassa yang berbeda yaitu perlakuan 15 ppt sebesar 9,260 gram/ml, perlakuan 20 ppt sebesar 9,542 gram/ml, sedangkan perlakuan 25 ppt sebesar 10,595 gram/ml,

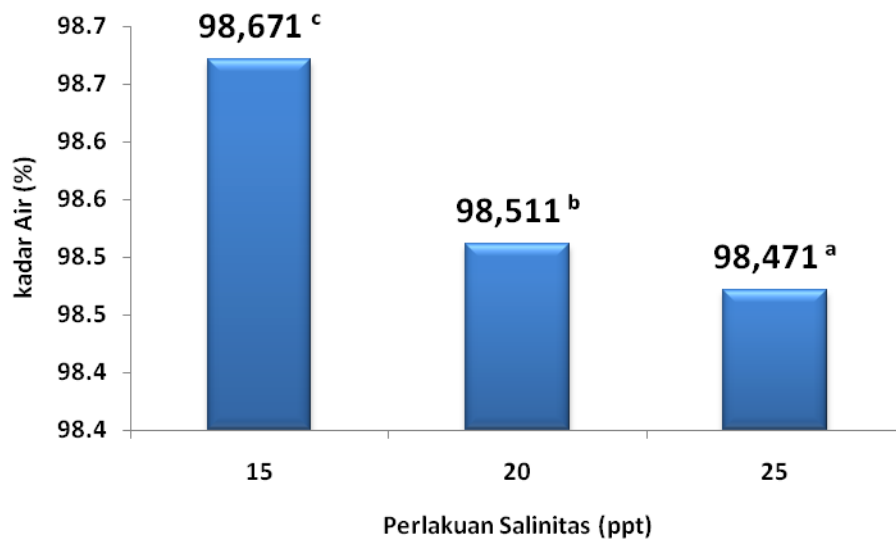
Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon berat basah biomassa *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = 0,385 x^2 - 0,875 x + 9,75$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 1$. Nilai berat basah biomassa menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 25 ppt dan respon terendah pada perlakuan 15 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa berat basah biomassa pada perlakuan salinitas 15 dan 20 mengalami peningkatan tidak signifikan ($p \geq 0,05$) yaitu sebesar 3,042 %. Selanjutnya berat basah biomassa tersebut mengalami peningkatan terhadap perlakuan salinitas 25 ppt ($p < 0,05$)

yaitu sebesar 14,217 % terhadap salinitas 15 ppt dan sebesar 11,039 % terhadap salinitas 20 ppt

4.1.3. Kadar Air Sel *Nannochloropsis sp.*

Berdasarkan data berat basah biomassa sel dan berat kering biomassa sel *Nannochloropsis sp.* maka dapat dilakukan perhitungan persentase kadar air sel *Nannochloropsis sp.* yang disajikan pada gambar 9.



Gambar 9. Kadar air *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

Berdasarkan (Gambar 7) menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan salinitas memberikan respon kadar air yang berbeda yaitu perlakuan 15 ppt sebesar 98,671 %, perlakuan 20 ppt sebesar 98,511 %, sedangkan perlakuan 25 ppt sebesar 98,471 %,

Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon kadar air *Nannochloropsis sp.* dengan pola polinomial negatif dengan persamaan $y = -0,060 x^2 - 0,341 x + 98,95$ dengan nilai koefisien determinan

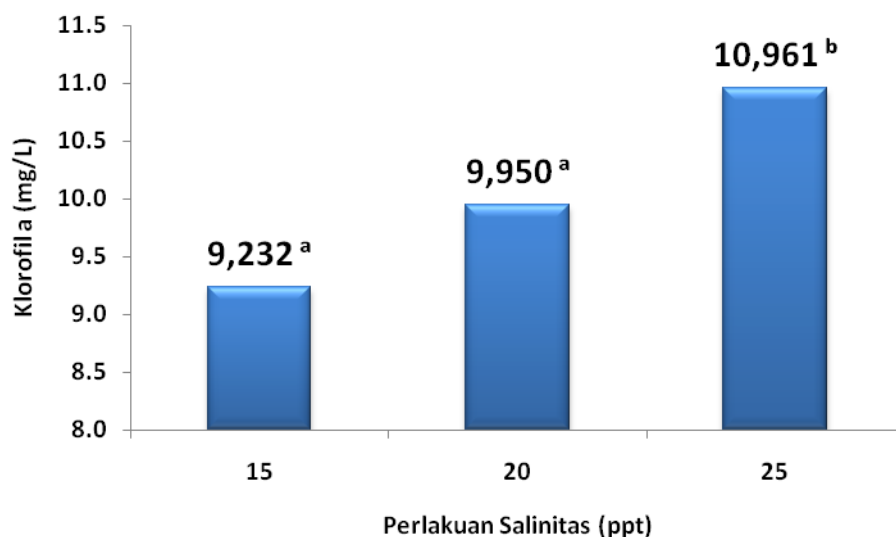
sebesar $R^2 = 1$. Nilai kadar air menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 15 ppt dan respon terendah pada perlakuan 25 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kadar air pada perlakuan salinitas 15, 20 dan 25 mengalami penurunan secara signifikan ($p \geq 0,05$), pada salinitas 20 dan 25 ppt yaitu sebesar - 0,163 % dan - 0,203 % terhadap perlakuan 15 ppt. Sedangkan perlakuan 25 % terhadap 20 % mengalami penurunan sebesar -0,041 %.

4.1.4. Kandungan Pigmen (Klorofil dan Karotenoid)

4.1.4.1. Klorofil a

Klorofil-a dianalisis dengan metode spektrofotometer dengan menggunakan pelarut aseton 90%. Nilai absorbansi dan kadar Klorofil-a *Nannochloropsis sp.* dengan perlakuan salinitas disajikan pada gambar 10.



Gambar 10. Kadar klorofil a mikroalga *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

Berdasarkan (Gambar 7) menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan salinitas memberikan respon kadar klorofil a yang berbeda yaitu perlakuan 15 ppt sebesar 9,232 ppm, perlakuan 20 ppt sebesar 9,950 ppm, sedangkan perlakuan 25 ppt sebesar 10,961 ppm.

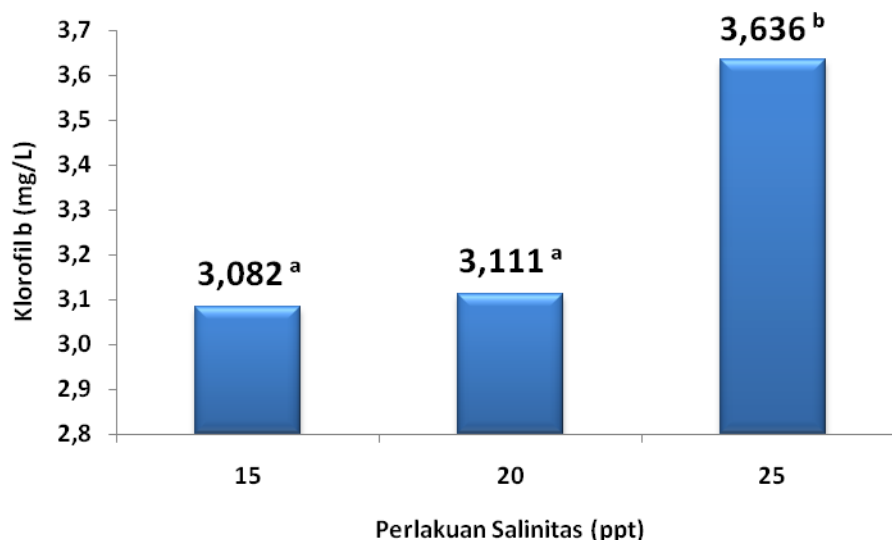
Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon kadar klorofil a *Nannochloropsis sp.* dengan pola linier. Regresi linier dengan persamaan $y = 0,864 x + 8,319$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 0,990$. Nilai kadar klorofil a menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 25 ppt dan respon terendah pada perlakuan 15 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kadar klorofil a pada perlakuan salinitas 20 dan 30 mengalami peningkatan secara signifikan ($p < 0,05$) yaitu sebesar 18,720 %. Selanjutnya kadar klorofil a tersebut mengalami penurunan secara signifikan terhadap perlakuan salinitas 25 ppt ($p < 0,05$) yaitu sebesar -3,897 % terhadap salinitas 20 ppt dan sebesar -19,051 % terhadap salinitas 20 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa klorofil a pada perlakuan salinitas 15, 20 dan 25 mengalami peningkatan, pada salinitas 20 dan 25 ppt yaitu sebesar 7,774 % dan 18,720 % terhadap perlakuan 15 ppt. Sedangkan perlakuan 25 % terhadap 20 % mengalami peningkatan sebesar 10,157 %.

4.1.4.1. Klorofil b

Klorofil-b dianalisis dengan metode spektrofotometer dengan menggunakan pelarut aseton 90%. Nilai absorbansi dan kadar Klorofil-b *Nannochloropsis sp.* dengan perlakuan salinitas disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Kadar klorofil b mikroalga *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

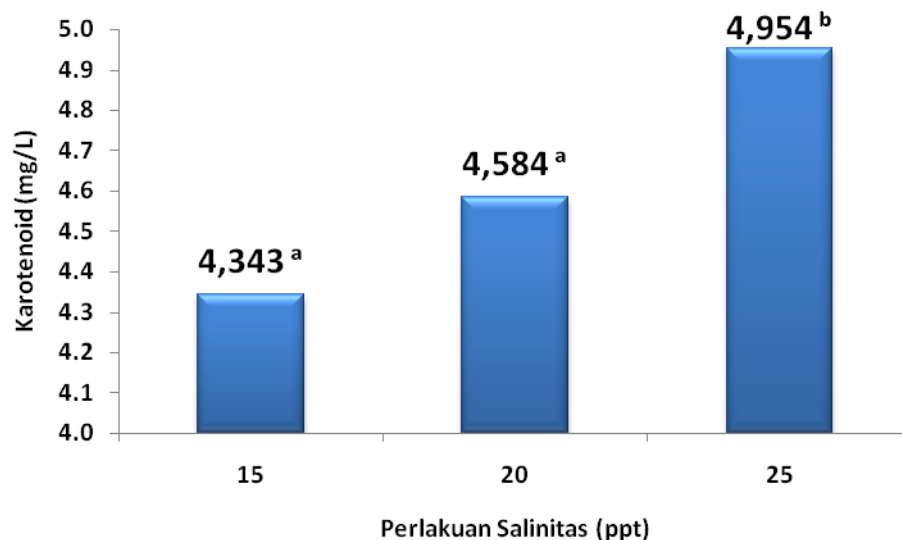
Berdasarkan (Gambar 7) menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan salinitas memberikan respon kadar klorofil b yang berbeda yaitu perlakuan 15 ppt sebesar 3,082 ppm, perlakuan 20 ppt sebesar 3,111 ppm, sedangkan perlakuan 25 ppt sebesar 3,636 ppm,

Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon kadar klorofil b *Nannochloropsis sp.* dengan pola non-linier yaitu polynomial. Polynomial ortogonal dengan persamaan $y = 0,247 x^2 - 0,714 x + 3,636$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 1$. Nilai kadar klorofil b menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 25 ppt dan respon terendah pada perlakuan 15 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kadar klorofil b pada perlakuan salinitas 15 dan 20 mengalami peningkatan yaitu sebesar 0,936 %. Selanjutnya kadar klorofil b tersebut mengalami peningkatan terhadap perlakuan salinitas 25 ppt ($p < 0,05$) yaitu sebesar 17,948 % terhadap salinitas 15 ppt dan sebesar 16,855 % terhadap salinitas 20 ppt.

4.1.4.2. Karotenoid

Pigmen karotenoid terdapat pada mikroalga *Nannochloropsis sp.* yang dianalisa dengan metode spektrofotometer. Hasil kandungan pigmen karotenoid pada *Nannochloropsis sp.* yang dikultur dengan salinitas berbeda disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kadar karotenoid mikroalga *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan media bersalinitas 15, 20 dan 25 ppt.

Berdasarkan (Gambar 7) menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan salinitas memberikan respon kadar karotenoid yang berbeda yaitu perlakuan 20

ppt sebesar 4,343 ppm, perlakuan 20 ppt sebesar 4,584 ppm, sedangkan perlakuan 25 ppt sebesar 4,954 ppm,

Berdasarkan perlakuan media salinitas 15, 20 dan 25 ppt memberikan respon kadar karotenoid *Nannochloropsis sp.* dengan pola linier. Regresi linier dengan persamaan $y = 0,305x + 4,015$ dengan nilai koefisien determinan sebesar $R^2 = 985$. Nilai kadar karotenoid menunjukkan bahwa respon tertinggi pada perlakuan 25 ppt dan respon terendah pada perlakuan 15 ppt.

Berdasarkan hasil analisis one way anova menunjukkan bahwa kadar karotenoid pada perlakuan salinitas 15 ke 20 mengalami peningkatan yaitu sebesar 5,543 %. Selanjutnya kadar karotenoid tersebut mengalami peningkatan terhadap perlakuan salinitas 25 ppt ($p < 0,05$) yaitu sebesar 14,065 % terhadap salinitas 15 ppt dan sebesar 8,075 % terhadap salinitas 20 ppt.

4.1.5. Kualitas Air Media

Kualitas air media yang diamati pada penelitian ini meliputi: pH, suhu dan DO. Hasil pengukuran kualitas air media kultur *Nannochloropsis sp.* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kualitas Air Media Kultur *Nannochloropsis sp.* dengan Perlakuan Salinitas

Parameter	Perlakuan			Referensi
	Salinitas 15 ppt	Salinitas 20 ppt	Salinitas 25 ppt	
DO (mg/L)	6,0-7,0	5,8-7,4	5,4-7,3	Zainuri <i>et al.</i> (2013)
Suhu (°C)	24,3-28,3	23,9-28,3	23,9-28,8	Zainuri <i>et al.</i> (2013)
pH	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	Borowitzka dan Borowitzka (1988)

Hasil pengukuran parameter lingkungan media kultur menunjukkan bahwa kisaran kualitas air media kultur masih berada dalam kisaran *Nannochloropsis sp.*

untuk tumbuh. Nilai pH antara 7 - 7,5, suhu antara 23,9 – 28,8 °C, dan DO berkisar antara 5,4 – 7,4 mg/L.

4.2. Pembahasan

4.2.3. Laju Pertumbuhan Sel *Nannochloropsis sp*

Berdasarkan analisis one way anova menunjukkan bahwa laju pertumbuhan *Nannochloropsis sp* dipengaruhi oleh perlakuan salinitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon pertumbuhan tertinggi ada pada perlakuan salinitas 25 ppt dibandingkan dengan salinitas yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa *Nannochloropsis sp* tumbuh dengan baik pada salinitas tersebut. Salah satu fariabel yang berkaitan dengan pertumbuhan sel *Nannochloropsis sp* adalah ukuran sel. Jika ukuran sel semakin besar maka menunjukkan bahwa sel mengalami pertumbuhan dengan cepat. Perubahan ukuran sel dipengaruhi oleh kondisi hipoosmotik. Kondisi hipoosmotik menyebabkan sel mengalami perubahan ukuran yang lebih besar (membengkak). Hal itu dikarena cairan dari lingkungan masuk kedalam sel cukup banyak, pada kondisi tertentu sel dapat mengalami kerusakan (peledakan sel).

Pada salinitas 15 dan 20 ppt mengalami penurunan pertumbuhan yang disebabkan oleh mikroalga yang tumbuh pada lingkungan bersalinitas rendah mengalami osmosis. Apabila medium kultur bersalinitas rendah, lingkungan luar dari sel mengandung larutan hipotonik seperti konsentrasi zat terlarut (NaCl) yang rendah dan konsentrasi zat air yang tinggi, dan kemudian keluar dari dalam sel. Kondisi seperti ini menunjukkan bahwa molekul air mengalir

keluar dari sel, sehingga sel mengalami penyusutan dan komponen sel mengalami kerusakan (plasmolysis) (Pisal, 2005).

Menurut Hart (1991) menyatakan bahwa penurunan pertumbuhan pada salinitas yang lebih rendah disebabkan karena menurunnya proses fotosintesis. Turunnya salinitas akan menghambat proses fotosintesis (Mironyuk dan Einer, 1986), proses respirasi serta pembentukan sel (Soeder dan Stengel, 1974). Hal serupa juga dijelaskan oleh Powtongsook (1995); Nikookar *et al.* (2001); Jahnke (2003) yang menjelaskan bahwa penurunan pertumbuhan sel *Nannochloropsis sp* seiring dengan bertambahnya salinitas. Hal ini merupakan salah satu bentuk adaptasi yang dilakukan organisme terhadap salinitas yang tinggi. Kemampuan organisme dalam melakukan adaptasi berbeda – beda tergantung jenis dan perubahan salinitas dari habitat asalnya (Rao *et al.*, 2007).

Nutrisi merupakan faktor yang penting untuk pertumbuhan sel karena dapat membatasi transformasi energi dan fiksasi karbon (Herzig *et al.*, 1989). Walaupun pemberian awal nutrient sama diduga penggunaan nutrient di tiap perlakuan berbeda karena perbedaan perlakuan.

4.2.2. Biomassa *Nannochloropsis sp*

Berdasarkan analisis one way anova menunjukkan bahwa perlakuan salinitas berpengaruh terhadap biomassa kering *Nannochloropsis sp*. Hal tersebut diduga karena berkaitan dengan variasi ukuran sel *Nannochloropsis sp* dengan kepadatan atau laju pertumbuhan. Ukuran sel yang bervariasi dikarenakan sesuai dengan kondisi pertumbuhannya dan perubahan

lingkungan seperti salinitas. Mikroalga *Nannochloropsis sp* memanfaatkan cahaya, energi dan nutrisi yang ada untuk memproduksi biomassa (Huang *et al.*, 2011).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa biomassa tertinggi yang dihasilkan oleh *Nannochloropsis sp* ada pada perlakuan salinitas 25 ppt, sehingga pada salinitas 25 ppt merupakan salinitas optimum untuk mendapatkan biomassa yang besar. Salinitas merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh pada organisme yang berdampak osmotik terhadap osmoregulasi dan bioenergetik organisme akuatik. Salinitas memiliki pengaruh pada pengaturan ion internal yang secara langsung membutuhkan energi untuk dapat melakukan transpor aktif ion – ion guna mempertahankan lingkungan internal. Sehingga, hal ini mempengaruhi pada proses fisiologis sehingga metabolisme akan terganggu, gangguan metabolisme ini akan menyebabkan gangguan pada struktur sel. Gangguan tersebut akan menurunkan kuantitas dan kualitas produksi biomassa (Ferraris *et al.*, 1986).

Secara tidak langsung, faktor yang mempengaruhi produksi biomassa kering adalah fotoperiode (Mitra *et al.*, 2015). Menurut Mitra *et al.* (2015) menunjukkan bahwa pada saat keadaan gelap tidak diketahui adanya pertambahan biomassa dengan produksi EPA dan lipid yang rendah. Walaupun tidak ada pertambahan biomassa, tetapi masih bertahan hidup pada kondisi gelap dan kandungan lipid masih bisa diamati. Kemampuan sel mikroalga pada keadaan gelap sudah diteliti oleh T.J Smayda (1974). Produksi biomassa cenderung diikuti oleh kandungan klorofil a dan karotenoid yang

terkena cahaya dengan waktu yang berbeda. Dilaporkan bahwa pada konsentrasi yang rendah dan keadaan gelap menghasilkan klorofil a dan karotenoid yang tinggi (Muhlroth *et al.*, 2013; Fields *et al.*, 2014).

4.2.1. Kadar Pigmen *Nannochloropsis* sp

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan salinitas berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap kandungan pigmen klorofil a, klorofil b dan karotenoid mikroalga *Nannochloropsis* sp. Hal tersebut diduga karena salinitas berpengaruh terhadap tekanan osmotik. Mikroalga *Nannochloropsis* sp dapat menolerir terhadap tekanan salinitas yang ekstrim dengan cara membentuk zat organik yang aktif secara osmotik pada sel (Soeder dan Stengel, 1974). Pada salinitas tinggi sel mampu bertahan hidup karena adanya bantuan gliserol yang berfungsi sebagai mendukung tekanan osmotik untuk menyeimbangkan proses osmolaritas pada sel bagian luar (*extracellular*). Salinitas yang tinggi menyebabkan berkurangnya cairan yang ada pada sel sehingga akan mempengaruhi proses fotosintesis (Avron, 1992). Morfologi *Nannochloropsis* sp yang tidak memiliki dinding sel, sehingga sel dilindungi oleh membran plasma tipis atau disebut dengan periplast yang memungkinkan dapat mengalami perubahan ukuran dan bentuk sel secara cepat terhadap tekanan osmotik (Venkatesan *et al.*, 2013).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan sel yang tinggi tidak diikuti dengan jumlah klorofil a yang tinggi. Pada perlakuan salinitas 20 ppt mempunyai kepadatan sel yang paling rendah, namun kandungan pigmen klorofil a yang paling tinggi. Hal ini diduga karena pada saat tersebut

Nannochloropsis sp mengalami penyesuaian terhadap perubahan lingkungan yang besar sehingga energi yang dihasilkan dari proses fotosintesis digunakan untuk pembelahan sel (Schenk *et al.*, 2008).

Hasil penelitian menunjukkan juga bahwa kepadatan sel yang tinggi tidak diikuti dengan jumlah klorofil b yang tinggi. Diketahui kepadatan sel tertinggi ada pada salinitas 20 ppt, sedangkan kadar pigmen klorofil b tertinggi berada pada perlakuan salinitas 20 ppt (Gambar 11). Jumlah kadar pigmen klorofil b yang tinggi karena ukuran sel dan organ kloroplas *Nannochloropsis sp* relatif besar sehingga dengan kepadatan yang rendah mampu mencapai proses fotosintesis yang optimal dengan mentolerir salinitas dan intensitas cahaya (Yudiati *et al.*, 2010).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan salinitas 20 ppt (Gambar 11) memiliki kadar pigmen klorofil a tertinggi, diduga pada saat kondisi tersebut adalah kondisi yang optimum *Nannochloropsis sp* untuk memproduksi pigmen klorofil a. Pada salinitas 20 ppt hingga 20 ppt klorofil a mengalami kenaikan jumlah kadarnya. Hal ini didukung dengan pernyataan Bet Amotz (1983); Heidari *et al.* (2000); Gomez *et al.* (2003) yang menyatakan bahwa pigmen klorofil a akan meningkat seiring dengan bertambahnya salinitas. Setelah *Nannochloropsis sp* memproduksi pigmen klorofil a mencapai optimum, jumlah klorofil a mengalami penurunan pada saat salinitas 35 ppt dan 25 ppt, hal ini dikarenakan adanya pembentukan pigmen karotenoid sebagai metabolit sekunder yang diproduksi oleh sel

Nannochloropsis sp pada saat kondisi tekanan yang tinggi sebagai upaya untuk melindungi sel (Pisal, 2005).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa klorofil b pada setiap perlakuan menunjukkan pola yang sama mengikuti kandungan klorofil a hal ini karena klorofil b adalah pigmen aksesoris yang merupakan komponen fitoplankton hijau (chlorophyta) dan dapat diketahui dengan membaca slope dari klorofil a (APHA, 2005). Namun, klorofil b memiliki daya serap terhadap intensitas cahaya lebih pendek dibandingkan dengan klorofil a, yakni sebesar 630-648 nm sedangkan pada klorofil a pada panjang gelombang 660-682 nm. Hal ini karena pada klorofil b mengalami proses transformasi dengan cepat kedalam bentuk karbohidrat produk akhir dari proses fotosintesis dan bahan oksigen yang lain (Herring, 1990; Borowitzka, 1992).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan salinitas 20 ppt mempunyai kadar pigmen karotenoid lebih tinggi dibandingkan dengan salinitas yang lain (Gambar 11), sehingga diduga pada saat kondisi tersebut adalah kondisi yang optimum *Nannochloropsis sp* dalam memproduksi pigmen karotenoid. Salinitas yang optimum ini dimanfaatkan *Nannochloropsis sp* untuk bertahan hidup sehingga dapat mengakumulasi jumlah karotenoid yang tinggi (12,6% berat kering), termasuk β -karoten (60,4% dari karotenoid total) (El-Baky *et al.*, 2007). Pada kondisi stress *Nannochloropsis sp* akan mengalami hambatan pembelahan sel dimana kadar salinitas yang semakin meningkat akan meningkatkan produksi β -karoten (Kusumaningrum dan Zainuri, 2013). Kandungan β -karoten yang didalam

Nannochloropsis sp terakumulasi dalam ruang inter-tilakoid dari kloroplas lebih dari 10% berat keringnya, yang merupakan kandungan tertinggi produksi β -karoten dari setiap mikroalga (Madadkar, 2009). Produksi pigmen karotenoid dipengaruhi oleh salinitas (Cifuentes *et al.*, 2001; Fazeli *et al.*, 2005).

Menurut Jesus dan Filho (2010), karotenoid *Nannochloropsis sp* dihasilkan dalam kondisi stress yang tinggi dimana proses pembelahan sel terhambat. Kondisi stress itu diduga akibat terbentuk sel fusan itu sendiri yang menyebabkan pembelahan sel secara normal terganggu. Menurut Pisal (2005) dan Mendoza *et al.* (2008), sintesis β -karoten akan meningkat pada kondisi fisiologis sel yang tidak seimbang dalam sel yang disebabkan oleh faktor lingkungan sebagai upaya untuk melindungi sel dan mempertahankan pertumbuhan serta adaptasi terhadap lingkungan. Mekanismenya adalah dengan meningkatkan produksi pigmen β -karoten untuk menangkal radikal bebas yang berbahaya dan racun lainnya yang masuk ke dalam tubuh mikroalga *Nannochloropsis sp*. Hal ini menyebabkan *Nannochloropsis sp* lebih mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim dibandingkan dengan mikroalga lainnya. Selain faktor salinitas, faktor lingkungan mempunyai peranan yang penting dalam produksi pigmen karotenoid *Nannochloropsis sp* adalah suhu dan intensitas cahaya yang lebar (Borowitzka dan Siva, 2007).

Mikroalga *Nannochloropsis sp* mampu memproduksi akumulasi karotenoid dalam jumlah yang tinggi. Produksi karotenoid semakin meningkat

seiring dengan tahap kematian sel (Kusumaningrum, 2008), sehingga karotenoid merupakan metabolit sekunder yang dihasilkan setelah produksi klorofil dan pertumbuhan menurun sampai menuju fase kematian. Peningkatan pigmen pada fase stasioner dikarenakan pigmen yang dihasilkan digunakan untuk bertahan hidup karena nutrisi yang ada pada medium menipis (Kusumaningrum dan Zainuri, 2013).

Proses fotosintesis, karotenoid melindungi kloroplas dari kerusakan foto-oksidatif. Selain itu, karotenoid juga bertindak sebagai pigmen pemanen cahaya untuk menyerap energi cahaya di kisaran 400-500 nm (biru), yang tidak dapat diserap oleh klorofil dan melewatkan energi eksitasi kepada molekul klorofil (Kojo, 2004). Konsentrasi garam yang tinggi bertindak sebagai penghambat dan tidak mampu mencegah kloroplas dari kerusakan foto-oksidatif. Sebaliknya pada konsentrasi yang lebih rendah, karotenoid melaksanakan peran pelindungan bagi kloroplas dan bertindak sebagai pigmen.

Pigmen klorofil (a,b) dan karotenoid termasuk kedalam kelompok *light harvesting complexes*. Pada proses fotosintesis pigmen ini berfungsi sebagai pemanenan cahaya pada band biru atau biru kehijauan (470 – 475 nm) dan merah (630 – 675 nm). Klorofil a memiliki perbedaan dengan klorofil b pada fungsinya sebagai pemberi donor utama dan transfer energi pada pusat reaksi fotosistem didalam antena (*antenna complex*). Karotenoid (β -karoten dan lutein) memainkan peran penting dalam fotosistem II, pemanenan cahaya biru dan mentransfer energi ke pusat reaksi fotosistem dan melindungi fotosintesis

terhadap kerusakan oleh fotooksidasi seperti tidak aktifnya reaksi oksigen spesies (ROS) dan menurunnya ROS akibat kelebihan cahaya (Fu *et al.*, 2013).

Cahaya yang diberikan jumlahnya berlebihan, maka karotenoid bersifat sebagai fotoprotektor. Jika cahaya yang diberikan kurang mencukupi maka klorofil akan dibantu pigmen karotenoid dalam penyerapan cahaya yang tidak dapat diserap oleh klorofil. Selanjutnya energi yang dihasilkan akan dikirim ke kloroplas. Karotenoid juga berfungsi sebagai penstabil struktur protein, dan komponen penting dalam pembentukan kompleks pigmen-protein (fotosistem) berupa regulator aliran electron, oksigen tunggal dan donor electron kompleks protein-pigmen. Klorofil dan karotenoid akan disintesis secara seimbang di dalam kloroplas. Pada saat keseimbangan ini berubah akibat naiknya karotenoid, maka struktur plastid akan berubah dan sebagai akibatnya klorofil akan terdegradasi. Pigmen yang dihasilkan bukan klorofil tetapi karotenoid (Kusumaningrum dan Zainuri, 2013).

Salinitas memiliki peran pada kelangsungan hidup mikroalga dan dapat menyebabkan penghambatan aktivitas metabolisme seperti fotosintesis (Liska *et al.*, 2004 dalam Adenan, 2013). Garam NaCl yang terdiri natrium dan klor, natrium berfungsi untuk menggantikan sebagian kalium yang dibutuhkan untuk pertumbuhan maksimum, sedangkan klor diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion Cl yang berperan dalam proses fotosintesis. Jika proses fotosintesis terganggu maka energi yang dihasilkan tumbuhan sangat

sedikit. Hal tersebut mengakibatkan pasokan hasil fotosintesis yang terangkut pun sangat kurang untuk pertumbuhan (Syakiret *al.*, 2008).

Media kultivasi merupakan air laut yang mengandung garam, sehingga penguapan air akan meninggalkan garam pada media kultivasi dan menyebabkan kenaikan salinitas seiring bertambahnya waktu. Penguapan air pada media kultivasi dipercepat dengan aerasi dan energi panas dari lampu. Kenaikan salinitas dapat terjadi karena adanya sisa hasil metabolisme sel maupun pengendapan garam dan nutrisi dalam media kultur (Widianingsih, 2011).

Derajat keasaman atau pH menunjukkan kondisi perairan bersifat asam pada nilai < 7 , nilai $\text{pH} = 7$ kondisi perairan netral dan nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan kondisi perairan yang bersifat basa. Derajat keasaman yang berfluktuasi selama proses kultivasi diduga terjadinya karena perubahan kelarutan mineral dan karbondioksida pada media kultur. Reaksi kimia pada ion-ion karbonat dan bikarbonat yang terdisosiasi akan meningkatkan konsumsi karbondioksida secara berkelanjutan pada mikroalga sehingga ion OH^- terakumulasi dan pH meningkat (Wijanarko *et al.*, 2007). Mikroalga *Nannochloropsis sp* toleran terhadap perubahan pH pada kisaran 7 hingga 11 dan pH optimum untuk fotosintesis adalah 9. Proses fotosintesis mengalami penurunan hingga 33% pada penurunan pH sampai 5 (Colman dan Gehl, 1983 dalam Borowitzka, 1988).