

Skripsi

**BIOSORPSI ION Mn^{2+} OLEH *Nannochloropsis salina* PADA AIR PAYAU
DAN PENGARUHNYA TERHADAP KONSENTRASI KLOOROFIL**

AGUSTINA LOPANG

H 311 12 272



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2017

**BIOSORPSI ION Mn^{2+} OLEH *Nannochloropsis salina* PADA AIR PAYAU
DAN PENGARUHNYA TERHADAP KONSENTRASI KLOOROFIL**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh :

AGUSTINA LOPANG

H 311 12 272



MAKASSAR

2017

SKRIPSI

**BIOSORPSI ION Mn^{2+} OLEH *Nannochloropsis salina* PADA AIR PAYAU
DAN PENGARUHNYA TERHADAP KONSENTRASI KLOOROFIL**

Disusun dan diajukan oleh

AGUSTINA LOPANG

H 311 12 272

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama



Dr. H. Yusafir Hala, M.Si
NIP. 19580510 198810 1 001

Pembimbing Pertama



Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202 199903 2 002

Orang yang tak berpengalaman mendapat kebodohan,
tetapi orang yang bijak bermahkotakan pengetahuan.

(Amsal 14:18)

Sekalipun ada emas dan permata banyak,
tetapi yang paling berharga ialah bibir yang berpengetahuan

(Amsal 20:15)

*Karya ini saya persembahkan khusus untuk Orang Tuaku, Adik-adikku Tercinta
dan teman-teman saya*

PRAKATA

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus atas segala penyertaan dan hikmatnya hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“Biosorpsi Mn^{2+} Oleh *Nannochloropsis salina* pada Air Payau dan Pengaruhnya terhadap Konsentrasi Klorofil”**. Berbagai kendala dan tantangan yang menghadang memang tidak mudah ditempuh namun berkat doa, dukungan, dan motivasi dari semua pihak akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua terkasih *Marthen Lobo* (Alm) dan *Esther Ipun* atas doa, kasih, kebaikan yang telah mengasuh dan membesarkan penulis serta dukungan yang tiada henti-hentinya. Beserta adik penulis, Ita dan Yopi yang selama ini mendampingi penulis dalam segala aktifitas dengan cinta dan kasih.

Dengan hati yang tulus dan penuh hormat, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Yusafir Hala, M.Si, bapak Andi Muh. Anshar AN, M.Si dan ibu Dr. St. Fauziah, M.Si selaku pembimbing penulis yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan penulis demi selesainya skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dekan FMIPA, Dr. Eng. Amiruddin, M.Si dan Pembantu Dekan serta seluruh staf FMIPA.
3. Ibu Dr. Indah Raya, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia dan bapak Dr. Muhammad Zakir selaku Sekretaris Jurusan dan seluruh dosen yang telah membagi ilmunya kepada penulis selama menempuh pendidikan serta staf Jurusan Kimia atas bantuannya.

4. Bapak Drs. Abd. Karim, M.Si selaku penasehat akademik penulis yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama menempuh studi.
5. Bapak Prof. Dr. Ahyar Ahmad, bapak Dr. Firdaus, MS dan bapak Drs. L. Musa Ramang, M.Si sebagai tim penguji yang telah banyak memberikan arahan dan masukan bagi penulis.
6. Seluruh analis pada Jurusan Kimia F.MIPA-UH Kak Fiby, Kak Linda, Hanna, Kak Anti, Ibu Kartini, Pak Sugeng, Kak Iten dan Pak Iqbal yang telah banyak membantu penulis selama melakukan penelitian.
7. Kak Linda dan Kak Fiby yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran dalam membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Ibu Halima Sumule sebagai orang tua kedua yang selalu memberikan arahan, didikan, nasehat selama penulis selama penulis melewati masa perkuliahan
9. Sahabat dan mitra penelitian penulis, Nurhardianti, Nur Faiizah Aqilah Firman dan Desri La'bilangi' yang telah bersama-sama melalui suka dan duka dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Segenap Keluarga Besar GMKI Komisariat FMIPA UNHAS untuk motivasi dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa study.
11. Teman-teman Pondokan Sejati (Kak Resti, Kak Meyby, Kak Titin, Nisri, Wendi, Jenet, Castelein, Iiril, Tri, Putri dan Lia) terimakasih atas kebersamaannya selama ini
12. Saudara-saudari Mahasiswa Kimia Angkatan 2012 dan H3112OES kalian adalah keluarga yang terbaik bagi penulis, terimakasih atas persahabatan terlebih rasa persaudaraan yang telah kalian berikan sehingga segala suka dan duka dalam masa studi dapat terlewati dan tidak akan terlupakan.

13. Kak Krisnanopi, Harjuma dan Pranakasih yang telah banyak membantu selama ini, terima kasih

14. Semua pihak yang tidak sempat tertulis namanya yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis hanyalah manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan sehingga penulis menyadari bahwa apa yang penulis sajikan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak, dan semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Penulis

2017

ABSTRAK

Penelitian mengenai biosorpsi Mn^{2+} dan pengaruhnya terhadap konsentrasi klorofil pada mikroalga *Nannochloropsis salina* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola pertumbuhan, efisiensi penjerapan, gugus fungsi yang terlibat dalam penjerapan Mn^{2+} oleh *N. salina*, dan pengaruh pemaparan Mn^{2+} terhadap konsentrasi klorofil pada *N. salina*. Pada penelitian ini, salinitas air payau yang digunakan yaitu 15 ‰. Pemaparan Mn^{2+} dilakukan pada awal pertumbuhan *N. salina* dengan konsentrasi berturut-turut 2; 4; dan 8 ppm. Pertumbuhan *N. salina* diamati setiap hari dengan cara menghitung jumlah populasi menggunakan hemositometer. Konsentrasi Mn^{2+} setelah pemaparan ditentukan dengan menggunakan SSA. Identifikasi gugus fungsi dengan menggunakan FT-IR. Penentuan klorofil dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Hasil yang diperoleh menunjukkan pertumbuhan *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} dengan konsentrasi 2 dan 4 ppm lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan *N. salina* pada medium kontrol. Pertumbuhan *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} dengan konsentrasi 8 ppm lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan *N. salina* pada medium kontrol. Efisiensi penjerapan maksimum Mn^{2+} dengan konsentrasi 2; 4 dan 8 ppm secara berturut-turut yaitu 54,81; 30,2 dan 37,69 %. Gugus fungsi yang dominan berperan dalam proses biosorpsi adalah gugus C-O dan O-H. Penambahan Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm meningkatkan konsentrasi klorofil *a* pada *N. salina*.

Kata Kunci: Biosorpsi, *Nannochloropsis salina*, Mangan, Klorofil, SSA, FT-IR

ABSTRACT

Research on biosorption of Mn^{2+} and its effect on chlorophyll concentrations in *Nannochloropsis salina* microalgae has been carried out. This research aimed to determine the growth patterns, biosorption efficiency, the functional groups involved in biosorption of Mn^{2+} , and the influence of added Mn^{2+} in chlorophyll concentrations in *N. salina*. In the research, the salinity of brackish water used is 15 ‰. Exposure Mn^{2+} concentration of 2, 4 and 8 ppm conducted in early infancy *N. salina*. The growth of *N. salina* was observed every day by counting the number of populations using a hemocytometer. The concentration of Mn^{2+} after exposure was determined using the AAS. Identification of functional groups was performed using a Fourier Transform Infra Red (FT-IR) spectrophotometer. Determination of chlorophyll concentrations was conducted using a UV-VIS spectrophotometer. The results showed that the growth of *N. salina* exposed Mn^{2+} with the concentration of 2 and 4 ppm was higher than that on the control medium. The growth of *N. salina* exposed Mn^{2+} with the concentrations of 8 ppm was lower than that on the control medium. The maximum adsorption efficiency of Mn^{2+} with the concentrations of 2, 4 and 8 ppm was 54,81; 30,2 and 37,69 % respectively. The dominant functional group involved in the biosorption process was a C-O and O-H. The exposure of Mn^{2+} with the concentration of 2, 4 and 8 ppm increased the amount of chlorophyll *a* in *N. salina*.

Keywords: Biosorption, *Nannochloropsis salina*, Manganese, chlorophyll, AAS, FT-IR

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.3.1 Maksud Penelitian	4
1.3.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pencemaran Mangan Di Perairan	5
2.2 Biosorpsi	7
2.3 <i>Nannochloropsis salina</i>	8
2.4 Klorofil.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Bahan Penelitian	18
3.2 Alat Penelitian	18

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.4 Prosedur Kerja	19
3.4.1 Persiapan Kultur <i>N. Salina</i>	19
3.4.2 Pertumbuhan <i>N. salina</i> yang terpapar Mn^{2+}	19
3.4.3 Pengukuran Konsentrasi Mn^{2+}	21
3.4.4 Identifikasi Gugus Fungsi	22
3.4.5 Penentuan Konsentrasi Klorofil	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pola Pertumbuhan <i>N. salina</i> pada kultur yang Tercemar Mn^{2+}	25
4.2 Efisiensi Penjerapan	28
4.3 Identifikasi Gugus Fungsi dengan Menggunakan FT-IR ...	30
4.4 Penentuan Konsentrasi Klorofil	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	40

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data spektrum IR residu kontrol dan <i>N.Salina</i> terpapar Mn^{2+}	31
2. Konsentrasi klorofil a pada kontrol dan <i>N.Salina</i> terpapar Mn^{2+}	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Nannochloropsis salina</i>	11
2. Rumus struktur klorofil	13
3. Diagram alir biosintesis klorofil	15
4. Kemampuan klorofil a, b dan c dalam menyerap cahaya.....	16
5. Hemositometer	20
6. Grafik pertumbuhan <i>N. salina</i> pada kontrol dan medium terpapar Mn^{2+}	25
7. Grafik Ep <i>N. salina</i> setelah pemaparan Mn^{2+} 2; 4; dan 8 ppm	28
8. Spektrum IR (a) kontrol dan (b) residu <i>N. salina</i> terpapar Mn^{2+}	30
9. Grafik persentase selisih konsentrasi klorofil a antara kontrol dengan <i>N. salina</i> terpapar Mn^{2+}	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Komposisi Medium Conwy dan Vitamin	40
2. Bagan Kerja	41
3. Perhitungan Larutan induk Mn^{2+} 10.000 ppm dalam 100 mL.....	46
4. Data Pertumbuhan <i>N. salina</i> Kontrol dan dengan Pemaparan Mn^{2+}	47
5. Data Hasil Pengukuran SSA dengan Metode Adisi Standar	48
6. Perhitungan C_o , C_f , C_s dan E_p	51
7. Tabel Data Hasil Perhitungan C_f , C_s Dan E_p Medium yang Terpapar Ion Mn^{2+}	57
8. Hasil Uji Klorofil	58
9. Foto Penelitian	59

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

SSA = Spektrofotometer Serapan Atom

Ep = Efisiensi penyerapan

‰ = Per mil

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat pada sumber daya air selama beberapa dekade terakhir telah menjadi perhatian seluruh dunia. Hal ini disebabkan karena dapat menimbulkan toksisitas bagi makhluk hidup (Meena dkk, 2008). Banyak logam yang beracun untuk manusia dan lingkungan ekologi antara lain kromium, tembaga, timbal, kadmium, merkuri, seng, mangan dan nikel (Meena dkk, 2008). Pada konsentrasi rendah, ion logam berat dapat bersifat sangat beracun dan sulit untuk terdegradasi (Suguna dkk, 2010).

Berbagai limbah domestik, pertanian, dan perindustrian berujung di daerah muara sungai dan pantai dan menyebabkan penurunan kualitas perairan. Penurunan kualitas perairan di kawasan pesisir juga akan mempengaruhi lingkungan tambak yang memanfaatkan sumber air di kawasan pesisir tersebut (Martuti, 2012). Sumber air payau pada tambak merupakan campuran antara air laut dan air tawar (Febriwahyudi dan Hadi, 2005). Air payau memiliki salinitas 10-25 ‰ (Wahyurini, 2007). Supardi dkk (2013) melaporkan bahwa pada ikan Bandeng yang berasal dari salah satu tambak milik warga dari Ujung Lero kab. Pinrang memiliki kandungan Pb yang sangat tinggi yaitu sebesar 45,11 mg/kg, hal ini disebabkan karena lokasi tambak tempat mengambil ikan berada di pinggir jalan raya yang banyak dilalui oleh kendaraan bermotor.

Mangan merupakan salah satu logam berat yang esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Yudo, 2006).

Kasus pencemaran logam Mn yang dilaporkan oleh Normaningsih (2013), rata-rata konsentrasi mangan pada air sungai Riam Kanan di ketiga stasiun secara berturut-turut adalah sebesar 0,27; 0,30; dan 0,50 mg/L. Rata-rata konsentrasi mangan ini melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 yaitu maksimum 0,1 ppm (Yudo, 2006).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat dalam perairan yaitu dengan metode kimia dan biologi. Metode yang dapat digunakan untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat secara kimia antara lain melalui proses pengendapan, oksidasi-reduksi, pertukaran ion, filtrasi, ekstraksi pelarut dan penguapan. Namun proses ini tidak efektif dan sangat mahal terutama ketika logam dalam larutan berada dalam kisaran 1-100 mg L⁻¹ dan juga tidak ramah lingkungan karena dapat menimbulkan endapan zat kimia yang beracun. Secara biologi dapat dilakukan melalui biosorpsi. Biosorpsi merupakan salah satu metode yang menjanjikan dalam mengikat logam berat bahkan dalam jumlah yang sangat encer (Pahlavanzadeh dkk., 2010), salah satunya dengan memanfaatkan mikroalga sebagai biosorben.

Secara umum menurut Bahctiar (2007), keuntungan pemanfaatan mikroalga sebagai biosorben adalah: (a) mikroalga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam menjerap logam berat karena di dalam mikroalga terdapat gugus fungsi dalam dinding sel seperti gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfhidril imadazol, sulfat dan sulfonat yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam, (b) bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, (c) biaya operasional rendah, (d) *sludge* yang dihasilkan sangat minim dan (e) kebutuhan nutrisi yang rendah.

Pada penelitian-penelitian, sebelumnya salah satu mikroalga yang dimanfaatkan untuk mengurangi pencemaran logam berat karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat adalah *Nannochloropsis salina* (Harjuma, 2015). *Nannochloropsis sp.* Dapat tumbuh pada salinitas 0-35‰, intensitas cahaya 100-10000 lux dan memiliki waktu generasi yang relatif singkat, terutama jika terdapat cahaya dan sumber energi yang cukup (Inthe, 2012). Harjuma (2015) melaporkan efisiensi penjerapan maksimum Mn^{2+} dengan konsentrasi 2; 4; 8 ppm berturut-turut sebesar 52,50; 59,25 dan 55,38 % pada lingkungan laut dengan salinitas 30 ‰.

Nannochloropsis sp. dapat melakukan fotosintesis karena memiliki klorofil (Inthe, 2012). Konsentrasi logam berat yang tinggi menyebabkan penurunan kandungan klorofil total (Olivares, 2003), yang dapat merusak struktur kloroplas, sehingga berakibat menurunnya warna hijau, akhirnya menguning mengalami klorosis (Widowati, 2011).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian tentang biosorpsi logam Mn^{2+} oleh *N. salina* telah dilakukan sejak awal pertumbuhan. Disamping itu dipelajari gugus fungsi yang terlibat dalam biosorpsi dan dampaknya terhadap konsentrasi klorofil. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan sebagai solusi dalam alternatif dalam pencemaran logam berat pada perairan khususnya pada air payau dengan salinitas 15 ‰.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola pertumbuhan *N. salina* pada medium air payau yang tercemar ion Mn^{2+} ?
2. Berapa efisiensi penjerapan (Ep) ion Mn^{2+} oleh *N. salina*?

3. Gugus fungsi apa yang terlibat dalam penjerapan ion Mn^{2+} oleh *N. salina*?
4. Bagaimana pengaruh pemaparan logam Mn^{2+} terhadap konsentrasi klorofil pada *N. salina*?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interaksi mikroalga *N. salina* dengan Mn^{2+} pada air payau dan pengaruhnya terhadap konsentrasi klorofil.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Menentukan pola pertumbuhan *N. salina* pada medium yang terpapar ion Mn^{2+} .
2. Menentukan efisiensi penjerapan ion Mn^{2+} oleh *N. salina*.
3. Menentukan gugus fungsi yang terlibat dalam penjerapan ion Mn^{2+} oleh *N. salina*.
4. Menentukan pengaruh pemaparan logam Mn^{2+} terhadap konsentrasi klorofil pada *N. salina*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberi informasi tentang pertumbuhan *N. salina* pada medium yang terpapar ion Mn^{2+} dan pengaruh pemaparan Mn^{2+} terhadap konsentrasi klorofil pada *N. salina* sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu kajian untuk mengelola lingkungan air payau yang tercemar logam berat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Mangan di Perairan

Logam masuk dalam perairan melalui berbagai sumber, seperti batu dan tanah, penguraian bahan organik dan aktivitas manusia, termasuk pembuangan limbah cair baik yang telah diolah maupun belum diolah ke badan air. Logam berat cenderung menumpuk di lingkungan karena sifatnya yang non-biodegradabilitas. Dengan demikian, penghilangan logam berat dari industri, pertambangan dan pertanian limbah sudah menjadi prioritas penting (Akoto dkk., 2008)

Logam berat walaupun dalam konsentrasi yang cukup rendah dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan, ditransfer dalam jangkauan yang sangat luas di perairan, berpotensi mengganggu kehidupan biota dan selanjutnya berpengaruh terhadap kehidupan manusia baik yang berada disekitar maupun yang berada jauh dari sumber pencemaran. Peningkatan jumlah logam berat di lingkungan dapat menyebabkan kerusakan terhadap tanah, udara dan air (Barleani, 2005), dan juga mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan oleh organisme akuatik untuk proses metabolisme akan berubah menjadi racun (Yudo, 2006).

Logam berat dalam air sangat berbahaya bagi ikan dan dapat mengurangi kepadatan ikan atau bahkan menyebabkan kepunahan seluruh populasi ikan di waduk tercemar. Logam berat juga dapat mengurangi kelangsungan hidup dan pertumbuhan larva ikan, menyebabkan anomali perilaku seperti kinerja locomotor terganggu, mengakibatkan peningkatan kerentanan terhadap predator, atau kerusakan struktural terutama tulang belakang cacat (Al-Najare dkk., 2005).

Logam berat berdasarkan sifat toksisitasnya dapat dibagi dalam dua jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang sangat dibutuhkan oleh organisme hidup dalam jumlah tertentu, seperti Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Ni dan sebagainya. Logam berat non esensial adalah logam berat yang masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Yudo, 2006).

Mangan merupakan unsur reaktif yang mudah menggabungkan dengan ion dalam air dan udara. Di alam, mangan tidak pernah ditemukan sebagai logam bebas, tetapi dalam bentuk mineral kimia yang berbeda dengan sifat fisiknya. Mineral yang paling penting adalah pyrolusite, karena merupakan mineral bijih utama untuk mangan. Kehadiran mangan dalam air tanah bersamaan dengan besi yang berasal dari tanah dan bebatuan. Mangan dalam air berbentuk $Mn(HCO_3)_2$, $MnCl_2$ dan $MnSO_4$ (Setiyono, 2014). Mangan yang terlarut di dalam air umumnya bervalensi dua (divalent) atau dalam keadaan ion manganous. Mangan juga sering berada dalam keadaan senyawa dengan zat organik berbentuk senyawa kompleks (Said, 2005). Limbah mangan dapat berasal dari limbah pertambangan, maupun pabrik pengolahan tekstil dan pembuatan logam campuran atau aloi (Ariffeni, 2011).

Mangan dalam jumlah yang sedikit tidak menimbulkan gangguan kesehatan dalam tubuh manusia, tetapi dalam jumlah yang besar dapat tertimbun di dalam hati dan ginjal. Keracunan senyawa mangan dapat menimbulkan gangguan pada sistem saraf, menampakkan gejala seperti Parkinson dan menimbulkan gangguan pada pertumbuhan tulang (Hartini, 2012). Selain itu mangan juga dapat menyebabkan gangguan kejiwaan, gejala kelainan otak, hiperiritabilitas, halusinasi gejala kelainan otak serta tingkah laku abnormal (Yuliani, 2009).

Keracunan mangan tidak menimbulkan gejala muntah seperti keracunan pada umumnya. Keberadaan mangan dalam perairan dapat menimbulkan air menjadi berwarna ungu/hitam (Yudo, 2006). Mangan juga dalam konsentrasi rendah dapat menimbulkan rasa atau bau logam pada air (Hartini, 2012).

Kasus pencemaran logam Mn yang dilaporkan oleh Gultom (2014), konsentrasi logam Mangan pada sedimen sekitar perairan Pelabuhan Panjang, Bandar Lampung adalah antara $287,08 \pm 0,44$ ppm sampai $290,20 \pm 0,27$ ppm. Selain itu, Normaningsih (2013) juga melaporkan rata-rata konsentrasi mangan pada air sungai Riam Kanan, Kab. Banjarbaru di ketiga stasiun secara berturut-turut adalah sebesar 0,27; 0,30; dan 0,50 mg/L. Rata-rata konsentrasi mangan ini melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 yaitu maksimum 0,1 ppm (Yudo, 2006).

2.2 Biosorpsi

Pengolahan konvensional yang digunakan untuk menghilangkan logam berat dari limbah antara lain presipitasi, koagulasi, pertukaran ion dan adsorpsi. Namun, penerapan proses tersebut sering ditemukan terbatas karena kendala teknis dan membutuhkan biaya yang cukup mahal (Akoto dkk, 2008), bila dibandingkan dengan metode biosorpsi.

Biosorpsi merupakan salah satu cara untuk menghilangkan logam berat yang saat ini sedang berkembang, yang memerlukan biaya relatif murah dibandingkan dengan proses lain khususnya jika diterapkan pada kapasitas yang besar dengan konsentrasi yang rendah (Barleani, 2005).

Biosorpsi dengan menggunakan makhluk hidup memiliki beberapa keuntungan antara lain: (a) sel mampu meregenerasikan diri sesuai dengan

kemampuannya bertumbuh, (b) logam disimpan dalam keadaan kimia labil dan (c) dua atau lebih mikroorganisme dapat digunakan bersamaan. Adapun kerugian dari penggunaan sel hidup adalah: (a) tergantung tingkat toksisitas logam terhadap sel, (b) membutuhkan nutrisi untuk pertumbuhan sel, (c) logam tidak mudah untuk dipisahkan dari biomassa karena adanya ikatan intraselulernya (Barleani, 2005).

Mekanisme biosorpsi logam tidak melibatkan gaya van der Waals di jaringan selulosa dari dinding sel, tetapi melibatkan ikatan ion dan ikatan kovalen. Protein dan polisakarida merupakan komponen utama yang bertanggung jawab dalam proses biosorpsi. Ikatan kovalen terjadi antara logam dengan asam amino dan gugus karboksil dan ikatan ionik antara logam dengan karboksil dan sulfat kelompok (Petersen dkk., 2005).

Menurut Barleani (2005), Proses biosorpsi logam berat melibatkan dua mekanisme yaitu: (1) *passive uptake* proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel dengan dua cara yakni pertukaran ion, dimana ion monovalen dan divalent seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh logam berat dan bentuk kompleks antara ion logam berat dengan gugus fungsional berada pada dinding sel. (2) *active uptake*, mekanisme ini terjadi sejalan dengan kebutuhan mikroorganisme akan ion logam untuk pertumbuhan.

2.3 *Nannochloropsis salina*

Mikroalga adalah prokariotik atau eukariotik mikroorganisme fotosintetik yang dapat tumbuh dengan cepat dan hidup dalam kondisi yang keras karena struktur multiseluler atau uniselulernya. Contoh mikroorganisme prokariotik adalah *Cyanobacteria* (*Cyanophyta*) dan eukariotik mikroalga misalnya ganggang hijau (*Chlorophyta*) dan *Bacillariophyta* (Mata dkk, 2010). Mikroalga dapat

dimanfaatkan sebagai sumber pakan dan obat, juga digunakan dalam pengolahan limbah logam berat serta sebagai sumber energi alternatif untuk biodiesel karena mikroalga selain mengandung protein, karbohidrat dan vitamin juga mengandung minyak (Hermanto dkk., 2011).

Mikroalga memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi dan nutrisi anorganik seperti CO₂ (Sopiah dkk, 2012). Pertumbuhan mikroalga membutuhkan berbagai unsur mikro / makro yang membantu menjaga sistem metabolismenya. Selain empat elemen dasar yaitu, karbon, nitrogen, fosfor dan belerang, komponen ionik seperti natrium, kalium, zat besi, magnesium dan kalsium juga harus disediakan dalam budidaya alga (Cai, 2012).

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga: (1) abiotik, seperti cahaya, suhu, jumlah nutrisi, O₂, CO₂, pH, salinitas, dan bahan kimia beracun. (2) biotik, seperti patogen (bakteri, jamur, virus) dan persaingan oleh alga lainnya (Mata dkk, 2010).

Suhu merupakan salah satu faktor yang paling penting dalam pertumbuhan mikroalga, setelah pencahayaan, untuk kultur alga dalam kedua sistem luar ruangan tertutup dan terbuka. Banyak mikroalga dapat dengan mudah mentolerir suhu hingga 15 °C lebih rendah dari optimal, tetapi jika melebihi suhu optimum 2-4 °C dapat mengakibatkan kerugian total budidaya (Mata dkk, 2010).

Menurut Raize dkk (2002), mikroalga mengandung gugus fungsi seperti karboksil, amino, sulfhidril dan sulfonat yang merupakan penyusun dari protein dan polisakarida oleh karena itu, mikroalga dapat mengakumulasi logam berat karena memiliki gugus fungsi yang dapat bertindak sebagai ligan,

Mikroalga akan memberikan respon yang berbeda terhadap toksisitas logam berat, seperti mikroalga akan mensintesis fitokelatin, perubahan tingkat fitohormon

(auksin, sitokinin dan giberelin) dan lain-lain. Logam berat yang terserap ke dalam sel mikroalga kemudian akan masuk pada jalur metabolisme mikroalga dan akan memblok gugus fungsional yang penting seperti enzim, polinukleotida, sistem transportasi nutrisi, denaturasi dan inaktivasi enzim (Bajguz, 2011), sehingga dapat menyebabkan gangguan fungsi sel mikroalga dimana keadaan ini dapat diamati dengan menurunnya jumlah sel yang hidup (Rios dkk., 2007).

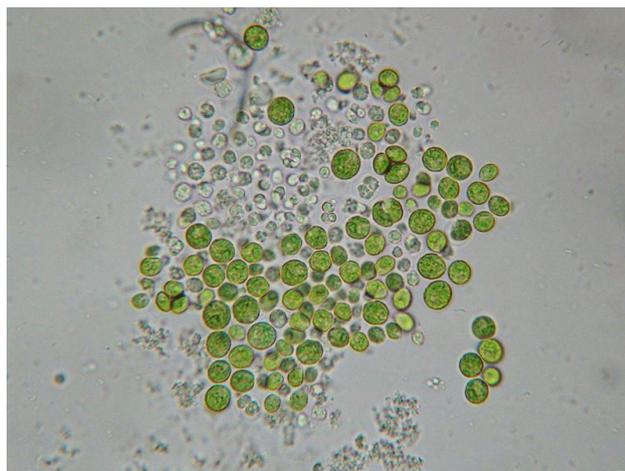
Pertumbuhan mikroalga ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambah banyaknya jumlah sel dengan 5 fase pertumbuhan yaitu: (1) Fase istirahat yang berhubungan dengan beberapa faktor antara lain penurunan aktivitas enzim, penurunan tingkat metabolisme, peningkatan ukuran sel tetapi berkembang biak. (2) Fase logaritma/eksponensial yang ditandai dengan pembelahan sel dengan laju pertumbuhan sel secara cepat. Laju pertumbuhan biasanya relatif konstan dan nilainya tergantung ukuran sel, iluminasi cahaya dan suhu. Cepat lambatnya pertumbuhan eksponensial pada kultur volume terbatas akhirnya akan berhenti. Hal ini dikarenakan berkurangnya faktor pendukung seperti nutrisi, kecepatan suplai CO₂ dan O₂, berubahnya pH, terbatasnya cahaya yang masuk dalam media serta adanya bahan yang beracun. (4) Fase stasioner dimana laju reproduksi sama dengan laju kematian sehingga kepadatannya tetap. Produksi pada fase stasioner juga tergantung pada kondisi alami dari faktor-faktor yang membatasi pertumbuhan. (5) Fase kematian yang merupakan penurunan jumlah organisme kultur setelah melewati fase stasioner. Pada fase ini ditandai dengan laju kematian yang lebih tinggi daripada laju reproduksi (Hermanto dkk, 2011)

Nannochloropsis adalah genus alga hijau kuning dari keluarga *Monodontidae* (Cai, 2012), berbentuk oval dan berukuran mikro yakni 2 hingga 5 µm dan bertumbuh sangat cepat (Haryanti dkk., 2010). Anggota dari genus ini ada

6 spesies: *N. gaditana*, *N. granulate*, *N. limnetica*, *N. oceanica*, *N. oculata*, *N. salina* (Cai, 2012). Menurut Guiry (2012), *Nannochloropsis salina* mempunyai klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Chromista
Filum : Ochrophyta
Kelas : Eustigmatophyceae
Ordo : Eustigmatales
Famili : Monodopsidaceae
Genus : *Nannochloropsis*
Spesies : *Nannochloropsis salina*

Nannochloropsis salina mempunyai pigmen klorofil a, beta karoten, violaxanthin, zeaxanthin serta mempunyai kemampuan mengadsorpsi ion-ion logam yang tinggi karena mengandung gugus-gugus fungsi seperti amina, amida dan karboksilat (Haryanti dkk., 2010). Adapun pertumbuhan *N. salina* sangat dipengaruhi oleh pH, suhu, cahaya, salinitas, nutrisi dan aerasi (Sudarmawan dkk., 2011).



Gambar 1. *Nannochloropsis salina* (Schlagenhauser, 2012)

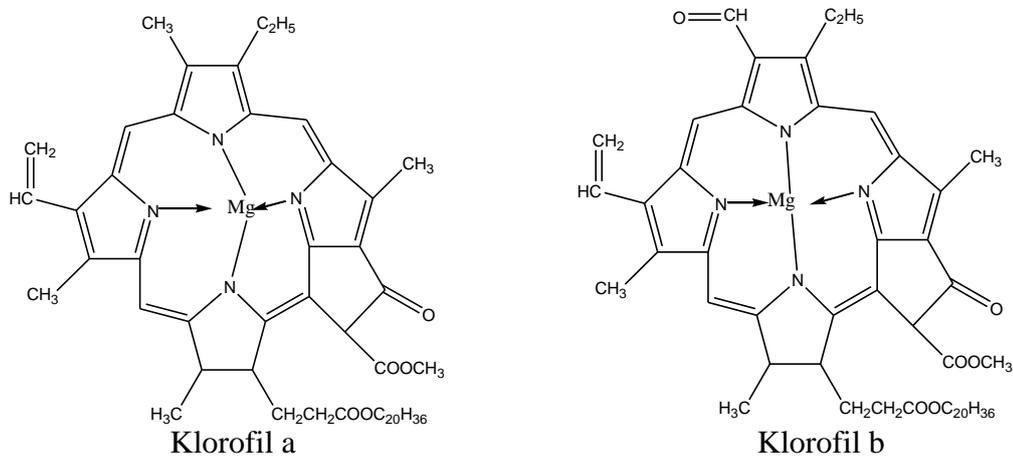
Beberapa penelitian telah menggunakan *N. salina* untuk mengabsorpsi logam berat seperti yang dilaporkan Wahab dkk. (2012), mikroalga *N. salina* dapat menjerap Pb^{2+} dan Cu^{2+} dengan efisiensi penjerapan maksimum yang sama pada konsentrasi 10 ppm yaitu sebesar 49,85 %, Harjuma (2015) juga melaporkan efisiensi penjerapan maksimum Mn^{2+} dengan konsentrasi 2; 4; 8 ppm berturut-turut sebesar 52,50; 59,25 dan 55,38 % pada lingkungan laut.

2.4 Klorofil

Klorofil adalah pigmen berwarna hijau yang terdapat dalam kloroplas bersama-sama dengan karoten dan xantofil pada semua makhluk hidup yang mampu melakukan fotosintesis. Sebagian besar klorofil berada dalam dua bentuk yaitu klorofil a dan klorofil b (Andarwulan dan Faradilla, 2012). Fotosintesis merupakan proses perubahan senyawa anorganik (CO_2 dan H_2O) menjadi senyawa organik (karbohidrat) dan O_2 dengan bantuan cahaya matahari. Klorofil terdapat dalam kloroplas. Kloroplas adalah organel sel tanaman yang mempunyai membran luar, membran dalam, ruang antar membran dan stroma (Campbell dkk., 2003). Klorofil merupakan pigmen tumbuhan yang sudah dikonsumsi sebagai suplemen makanan. Sumber klorofil yang dikonsumsi sampai saat ini berasal dari klorofil daun alfalfa, maupun dari alga *Spirulina sp.* dan *Chlorella* (Setiari dan Nurchayati, 2009). Klorofil berwarna hijau disebabkan adanya empat tipe utama pigmen yaitu klorofil a dan b yang berwarna hijau serta xantofil dan karoten yang berwarna kuning-oranye (Kimball, 1992).

Rumus empiris klorofil a adalah $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, sedangkan klorofil b adalah $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$, adapun rumus strukturnya dapat dilihat pada Gambar 2. Pigmen tersebut merupakan suatu porfirin yang mengandung cincin dasar tetrapirrol. Keempat cincinnya berikatan dengan ion Mg^{2+} . Cincin isosiklik yang kelima

berada dekat dengan cincin pirol ketiga. Substituen asam propionat diesterifikasi oleh diterpen alkohol fitol ($C_{20}H_{39}OH$) yang bersifat hidrofobik dalam cincin keempat (Andarwulan dan Faradilla, 2012).



Gambar 2. Rumus struktur klorofil (Campbell dkk., 2003)

Klorofil merupakan komponen kloroplas yang utama dan kandungan klorofil relatif berkorelasi positif dengan laju fotosintesis (Li dkk., 2006). Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga dan bakteri fotosintetik. Pigmen ini berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Tiga fungsi utama klorofil dalam proses fotosintesis adalah memanfaatkan energi matahari, memicu fiksasi CO_2 untuk menghasilkan karbohidrat dan menyediakan energi. Karbohidrat yang dihasilkan dalam fotosintesis diubah menjadi protein, lemak, asam nukleat dan molekul organik lainnya. Klorofil dapat menampung cahaya yang diserap oleh pigmen lainnya melalui fotosintesis, sehingga klorofil disebut sebagai pigmen pusat reaksi fotosintesis (Ai dan Banyo, 2011)

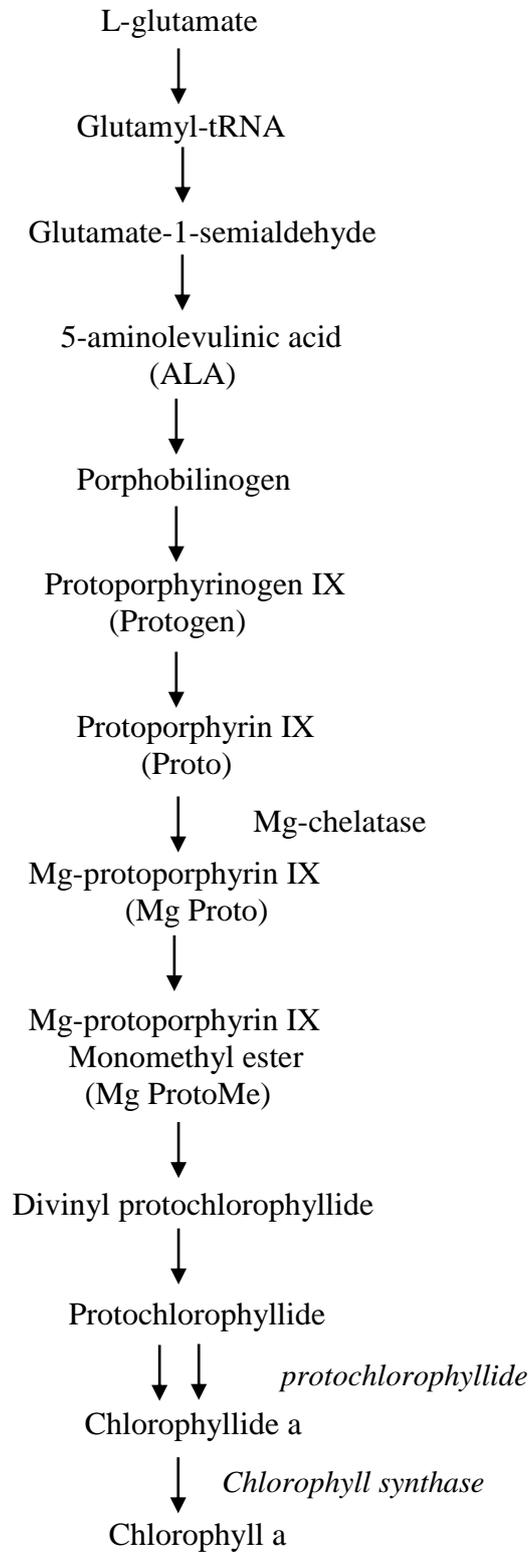
Sintesis klorofil dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti cahaya, gula atau karbohidrat, air, temperatur, faktor genetik, unsur-unsur hara seperti N, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, S dan O (Hendriyani dan Setiari, 2009). Klorofil adalah pigmen yang

memanfaatkan cahaya yang diserap sebagai energi untuk reaksi-reaksi dalam proses fotosintesis. Mangan berperan dalam biosintesis klorofil, mangan juga berperan sebagai koenzim, yaitu sebagai aktivator beberapa enzim respirasi dalam reaksi metabolisme nitrogen dan fotosintesis (Millaleo dkk., 2009).

Mangan memegang peranan utama dalam fotosistem II di mana Mn^{2+} dibutuhkan pada proses transfer elektron dalam fotosintesis (Millaleo dkk., 2009). Kekurangan mikronutrien Mn^{2+} dapat mempengaruhi laju fotosintesis. Laju fotosintesis menentukan kuantitas produk (karbohidrat) yang dihasilkan. Karbohidrat hasil fotosintesis oleh mikroalga selain digunakan untuk pertumbuhan juga untuk respirasi selular. Apabila hasil fotosintesis berkurang, maka karbohidrat yang tersisa setelah sebagian digunakan dalam proses respirasi tidak mencukupi untuk pertumbuhan sel. Akan tetapi, kelebihan nutrient Mn dapat mengganggu metabolisme sel (Prihantini, 2007). Semakin meningkat jumlah populasi berbanding lurus dengan konsentrasi klorofil pada mikroalga.

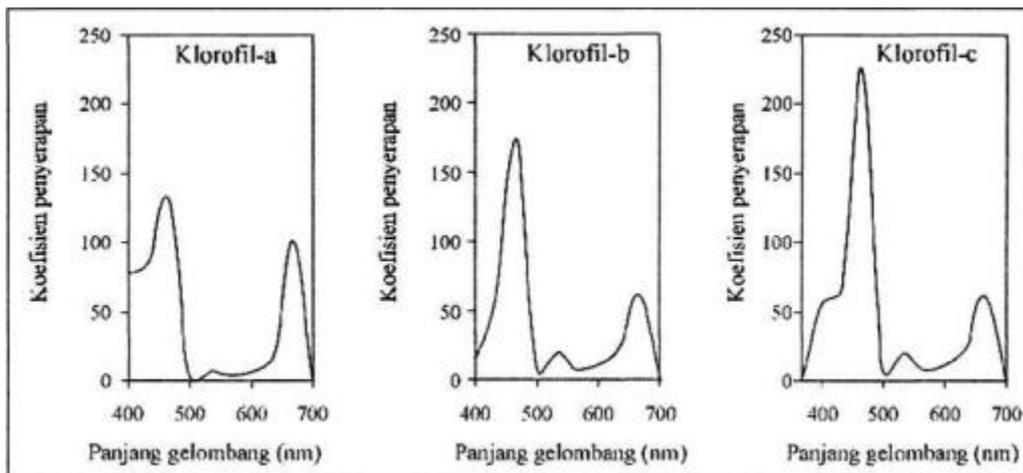
Biosintesis klorofil dimulai dari terbentuknya asam amino (asam glutamat) yang akan di ubah menjadi 5 asam amino levulinat (ALA), kemudian dua molekul ALA tersebut akan bergabung dan menjadi *porphobilinogen* (PBG) yang membentuk cincin pirol pada dalam klorofil. Tahap selanjutnya empat molekul PBG akan menjadi satu dan membentuk protoporphyrin IX. Magnesium kemudian ditambahkan di pusat molekul protophyrin IX menjadi monovinyl protochlorophyllide-a. Seluruh tahapan biosintesis klorofil dan heme sama hingga terbentuknya porifirin. Porifirin yang terbentuk akan mengikat ion logam yang menentukan pembentukan molekul akhir. Apabila porifirin berikatan dengan magnesium yang dimasukkan oleh enzim magnesium *chetalase* maka molekul yang

terbentuk adalah klorofil (Wicaksono,2014). Jalur biosintesis klorofil dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir biosintesis klorofil (Dwidjoseputro, 1995)

Semua klorofil memiliki sifat dapat berfluorescense, yakni apabila mendapat penyinaran dengan spektrum cahaya tertentu (excitation spectrum), maka cahaya yang diteruskannya (emission spectrum) adalah cahaya pada spektrum yang berlainan. Klorofil-a yang dilarutkan dalam aceton 85 % mempunyai *maximum excitation* antara panjang gelombang 430-450 nm (biru-ungu) dan akan memberikan maximum emission antara panjang gelombang 650-675 nm (merah tua). Kurva spektrum penyerapan klorofila, a,b dan dalam larutan ether ditunjukkan oleh Gambar 5, penyerapan maksimum primer terdapat di daerah spektrum biru ungu (panjang gelombang 430-477 nm) dan maksimum sekunder di daerah spektrum merah yaitu pada 628-662 nm (Riyono, 2007).



Gambar 4. Kemampuan klorofil a, b dan c dalam menyerap cahaya (Riyono, 2007).

Penentuan kandungan klorofil a, dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer dengan cara diukur absorbansinya pada panjang gelombang 664,647 dan 630 nm dikurangi dengan absorbansi pada panjang gelombang 750 nm. Pengurangan absorbansi pada panjang gelombang 750 nm dimaksudkan untuk mendapatkan nilai absorbansi yang dilakukan oleh klorofil, karena pada panjang gelombang 750 nm tidak terdapat penyerapan yang dilakukan oleh klorofil

(hanya factor kekeruhan sampel). Kandungan klorofil dihitung dengan rumus Hutagalung dan Permana, 1997):

$$\text{Klorofil a } \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{[(11,85 \times \text{OD}664) - (1,54 \times \text{OD}647) - (0,08 \times \text{OD}630)]}{V_s} \times V_1 \quad (7)$$

Keterangan:

OD 664 : Absorban 664 – Absorban 750

OD 647 : Absorban 647 – Absorban 750

OD 630 : Absorban 630 – Absorban 750

Absorbansi 750 nm : Faktor kekeruhan sample

Absorbansi 664 nm, 647 nm dan 630 nm : Penyerapan maksimum klorofil
a-b-c dalam pelarut aseton

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah larutan Medium Conwy dan vitamin dengan komposisi yang tertera pada Lampiran 1, biakan murni *N. salina* dari BPP-BAP Maros, air payau steril, akuades, akuabides, kertas saring Whatman 42 dan membran selulosa nitrat *Millipore* 0,45 µm, larutan HNO₃ p.a, aseton 90 %, Mn(NO₃)₂.4H₂O dan aluminium foil.

Air payau steril diperoleh dari air laut yang diatur salinitasnya sampai 15 ‰ dengan akuades dan disaring dengan kertas saring Whatman dan membran selulosa nitrat *Millipore* 0,45 µm lalu disterilisasi dalam autoklaf.

3.2 Alat penelitian

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian adalah alat gelas yang umumnya digunakan dalam laboratorium, aerator merk Amara, alat pencacah hemositometer merk Marienfeld LOT-No 4551, *hand counter*, mikroskop Nikon SE dengan pembesaran sampai dengan 125 kali, oven merk SPNISOSFD, sentrifus pada Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Unhas, spektrofotometer serapan atom (SSA) *Buck Scientific* model 205 VGP pada Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Unhas, autoklaf merk All American model No. 1925X, *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) merk SHIMADZU 820 IPC pada Laboratorium Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Unhas, Spektrofotometer UV-VIS Shimadzu model IR Prestige-21 pada Laboratorium Air BPP-BAP Maros.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan April-Desember 2016 di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin. Analisis SSA dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, analisis FT-IR di Laboratorium Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin dan analisis Spektrofotometer UV-VIS di Laboratorium Air BPP-BAP Maros.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Penyiapan Kultur *N. Salina*

N. salina sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 mL yang berisi 30 mL air payau steril dengan salinitas 15 ‰, ditambahkan 0,1 mL medium Conwy dan 1 tetes vitamin. Volume erlenmeyer dicukupkan hingga 50 mL dengan air payau steril, kemudian larutan diaduk. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya (Hala dkk., 2012), kondisi kultivasi *N. salina* diatur pada pH netral, suhu 20 °C, intensitas cahaya 4000 lux. Pertumbuhan *N. salina* diamati setiap hari hingga diperoleh kepadatan 30×10^4 mL/sel yang selanjutnya digunakan pada prosedur berikutnya.

3.4.2 Pertumbuhan *N. salina* Pada Medium yang Terpapar Ion logam Mn^{2+}

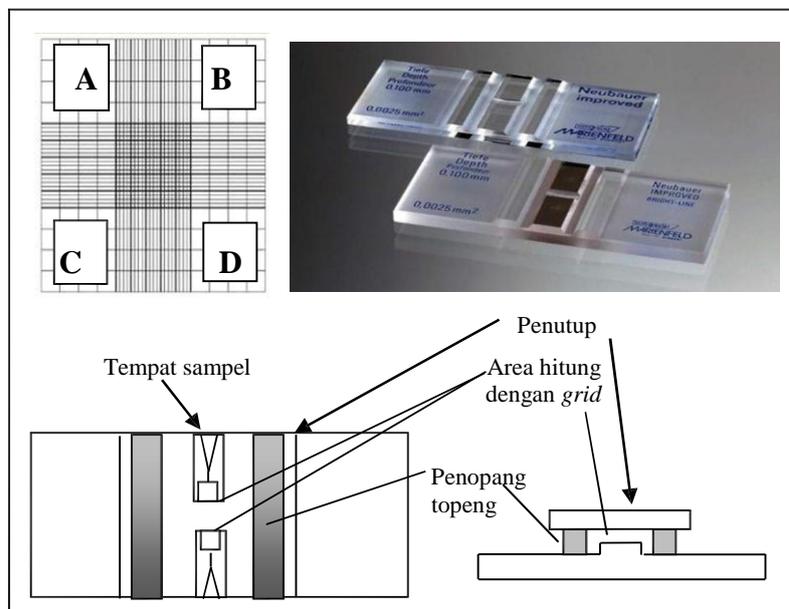
Pertumbuhan *N. salina* yang terpapar Mn^{2+} dilakukan dengan menggunakan air payau steril dan medium Conwy, pada kondisi: salinitas medium 15 ‰, pencahayaan kontinu, aerasi dan suhu ruangan 20 °C. Waktu pemaparan ion logam pada biakan *N. salina* dilakukan sejak awal masa pertumbuhan.

Air payau steril sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam 4 buah stoples 1 L. Kemudian, ditambahkan ion logam Mn^{2+} dengan konsentrasi 2 ppm; 4 ppm; 8 ppm;

dan 1 stoples sebagai kontrol. Selanjutnya, 2 mL larutan Conwy, 2 tetes vitamin, biakan *N. salina* dengan kepadatan awal 30×10^4 sel/mL, ditambahkan ke dalam stoples dan volume larutan dicukupkan hingga 1 L dengan air payau steril. Larutan diaduk dan dihubungkan dengan aerator. Stoples ditutup dengan penutup yang bagian tengahnya telah dilubangi sekitar 0,5 cm untuk tempat masuknya selang dari aerator. Selanjutnya, campuran didiamkan dalam ruangan bersuhu tetap dengan pencahayaan yang cukup.

Pengamatan pertumbuhan *N. salina* dilakukan dengan cara menghitung jumlah sel *N. salina* per mililiter media setiap hari dengan menggunakan alat hemositometer (Gambar 3) di bawah mikroskop hingga mikroalga tidak mengalami pertumbuhan lagi. Sampel diambil menggunakan pipet tetes steril sebanyak 0,1 mL dan diteteskan pada hemositometer. Jumlah populasi dengan 4 bidang pengamatan pada hemositometer (A, B, C dan D) dihitung berdasarkan persamaan (1)

$$\sum \text{Sel} = \frac{A+B+C+D}{4} \times 10^4 \text{ sel/mL} \quad (1)$$



Gambar 5. Hemositometer (Caprette, 2006)

Masing-masing larutan medium kultur dipipet sebanyak 15 mL. Mikroalga yang menyerap logam dipisahkan dengan air payau steril dengan cara disentrifugasi. Kandungan ion logam Mn^{2+} dalam filtrat ditentukan dengan menggunakan SSA.

3.4.3 Pengukuran Konsentrasi Mn^{2+} dengan Menggunakan SSA

A. Pembuatan Larutan Induk 10.000 ppm

Larutan induk Mn^{2+} 10.000 ppm dibuat dengan cara melarutkan 4,5679 gram $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ dengan 0,69 mL HNO_3 p.a kemudian diencerkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

B. Pembuatan Kurva Standar Adisi

Kultur *N. salina* yang dipaparkan ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm setiap hari diambil sebanyak 15 mL kemudian disentrifus. Lalu filtrat diambil masing-masing sebanyak 2 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur. Lalu dimasukkan HNO_3 0,5 M sebanyak 0,1 mL. Masing-masing labu ukur dimasukkan larutan induk Mn^{2+} 10 ppm berturut-turut 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4, 0,8 mL dan tanpa penambahan larutan induk untuk deret 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 ppm dan larutan blanko, kemudian dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas.

C. Pengukuran dengan SSA

Pengukuran konsentrasi logam SSA dilakukan dengan memilih katoda berongga yang sesuai dan menentukan panjang gelombang maksimum untuk masing-masing logam. Selanjutnya, sampel diukur absorbansinya, kemudian konsentrasi ion logam ditentukan berdasarkan kurva baku. Pengukuran konsentrasi logam dilakukan dengan menggunakan metode Adisi Standar, karena sampel air payau memiliki komponen yang kompleks. Hal ini akan mengakibatkan energi pembakaran yang berbeda jika dibandingkan sampel air biasa. Penggunaan metode

ini bertujuan untuk mengkondisikan sampel berkomponen kompleks agar energi pembakarannya sama. Konsentrasi dihitung sesuai persamaan (2) dan (3), dimana A merupakan absorban, a merupakan konstanta absorptivitas, b merupakan panjang medium absorbansi dalam nyala dan C merupakan konsentrasi.

$$A = a \cdot b \cdot C \quad (2)$$

Persamaan umum regresi yang digunakan untuk pengukuran SSA adalah

$$y = ax + b \quad (3)$$

Dimana y merupakan absorbansi, a merupakan slope, b merupakan intersep dan x merupakan konsentrasi

D. Penentuan Efisiensi penjerapan ion Mn^{2+}

Efisiensi penjerapan ion Mn^{2+} oleh mikroalga *N. salina* dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi ion Mn^{2+} yang terjerap oleh mikroalga *N. salina* dengan konsentrasi Mn^{2+} . Pengukuran konsentrasi dilakukan dengan SSA pada filtrat setelah pemaparan. C_0 merupakan konsentrasi awal ion logam, C_f merupakan konsentrasi ion logam dalam filtrat, C_s merupakan konsentrasi logam yang terserap dan E_p merupakan efisiensi penjerapan.

$$C_f = x = \frac{y-b}{a} \quad (4)$$

$$C_s = C_0 - C_f \quad (5)$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_0} \times 100 \% \quad (6)$$

3.4.4 Identifikasi Gugus Fungsi dengan Menggunakan FT-IR

Identifikasi gugus fungsi sebelum dan sesudah proses biosorpsi Mn^{2+} dilakukan dengan FT-IR, kultivasi kultur mikroalga dilakukan tanpa dan dengan

pemaparan logam Mn^{2+} . Setelah pertumbuhan optimum, *N. salina* kemudian disentrifus, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 35 °C selama 1 hari.

Sekitar 10 mg residu kering *N. salina* kemudian dihaluskan dalam lumpang dan dicampurkan dengan KBr (5-10 % sampel dalam serbuk KBr) lalu ditentukan langsung dengan menggunakan *diffuse reflectance measuring* (DRS-8000). DRS-8000 dipasang pada tempat sampel lalu serbuk KBr dimasukkan pada *sample pan* dan *background* ditentukan. Penentuan spektrum sampel dilakukan dengan memasukkan sampel yang telah dicampur dengan KBr pada *sample pan* dan spektrum diperoleh pada rentang bilangan gelombang 340-4500 cm^{-1} , resolusi 4 cm^{-1} , dan jumlah scan = 300.

3.4.5 Penentuan Konsentrasi Klorofil

Penentuan kadar klorofil sebelum dan sesudah proses biosorpsi ion logam Mn^{2+} dilakukan pada medium pertumbuhan *N. salina* tanpa dan dengan paparan Mn^{2+} pada konsentrasi yang mempunyai nilai efisiensi penjerapan ion logam paling tinggi. Penentuan kadar klorofil diadopsi dari *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* sebagai pedoman laboratorium dalam melakukan penetapan kadar klorofil dalam air (Cleveri, 2005 *dalam* Hala, 2013).

Sebanyak 10 mL sampel disaring dengan menggunakan penyaring aspirator dan pompa vakum yang telah berisi kertas selulosa. Kertas saring selulosa diambil dan dilipat lalu dimasukkan ke dalam tabung uji yang telah diisi dengan 7,5 mL larutan aseton 90 %. Campuran disimpan selama 24 jam dalam *freezer*. Selanjutnya disentrifus dengan laju 3500 rpm selama 10 menit lalu didiamkan selama 2 jam. Cairan jernih dituang ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang masing-

masing 750; 664; 647; dan 630 nm, dengan menggunakan blanko aseton yang telah disentrifus pula. Absorbansi dicatat dan kandungan klorofil a dihitung dengan menggunakan persamaan (7), dimana V_1 merupakan volume ekstrak aseton dan V_s merupakan volume sampel.

$$\text{Klorofil a } \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{[(11,85 \times \text{OD664}) - (1,54 \times \text{OD647}) - (0,08 \times \text{OD630})]}{V_s} \times V_1 \quad (7)$$

Keterangan:

OD 664 : Absorban 664 – Absorban 750

OD 647 : Absorban 647 – Absorban 750

OD 630 : Absorban 630 – Absorban 750

Absorbansi 750 nm : Faktor kekeruhan sample

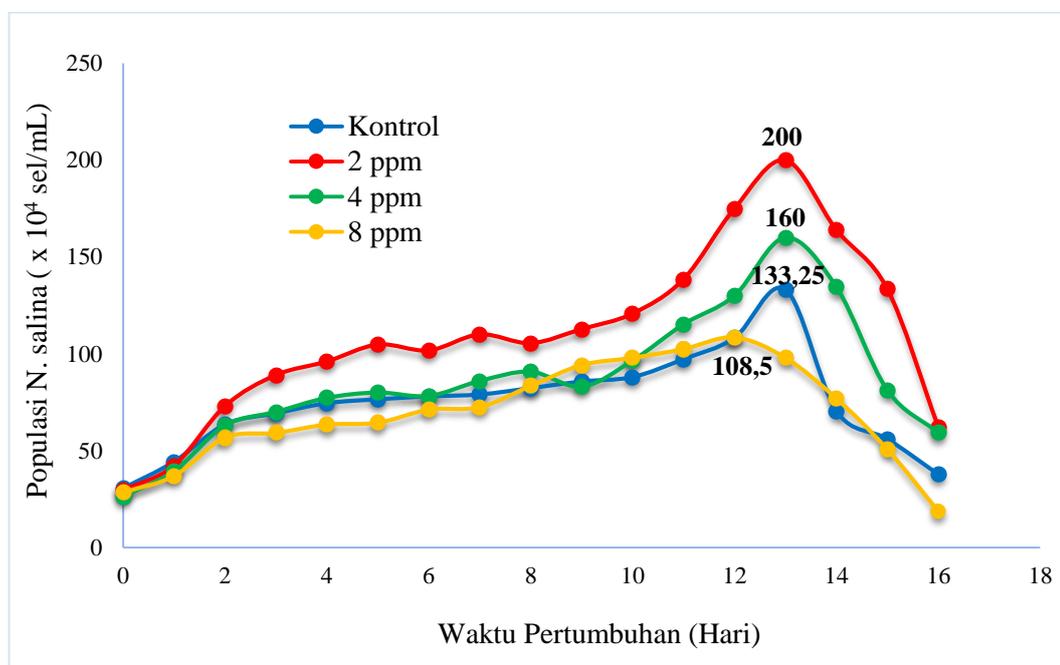
Absorbansi 664 nm, 647 nm dan 630 nm : Penyerapan maksimum klorofil
a-b-c dalam pelarut aseton

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pola Pertumbuhan *N. salina* Pada Medium yang Terpapar Ion logam Mn^{2+}

Pola pertumbuhan *N. Salina* pada medium yang tidak terpapar ion logam Mn^{2+} dengan medium yang terpapar ion logam Mn^{2+} di lingkungan air payau pada salinitas 15‰ dapat dilihat pada gambar 6. Grafik tersebut merupakan hubungan antara jumlah populasi *N. salina* ($\times 10^4$ sel/mL) terhadap waktu pertumbuhan (hari).



Gambar 6. Grafik pertumbuhan *N. salina* pada kontrol dan medium terpapar Mn^{2+}

Pertumbuhan optimum *N. salina* kontrol yang tidak terpapar logam terjadi pada hari ke-13 dengan jumlah populasi sebesar $133,25 \times 10^4$ sel/mL. Pertumbuhan optimum *N. salina* yang terpapar Mn^{2+} 2 dan 4 ppm terjadi pada hari ke-13, dengan jumlah populasi berturut-turut sebesar 200×10^4 dan 160×10^4 sel/mL. Sedangkan, pertumbuhan optimum *N. salina* pada kultur yang terpapar Mn^{2+} 8 ppm terjadi pada hari ke 12, dengan jumlah populasi $108,5 \times 10^4$ sel/mL.

Kontrol *N. salina* mengalami pertumbuhan yang lambat pada hari ke-1. Hal ini disebabkan karena pada hari tersebut merupakan fase lag. Fase lag merupakan tahap adaptasi mikroalga dalam medium baru. Pada fase lag, *N. salina* akan menyesuaikan diri dengan lingkungan. Selama masa adaptasi *N. salina* lebih sensitif terhadap nutrient, temperatur dan kondisi yang berbeda dari kondisi aslinya. Kemudian, *N. salina* mengalami Fase eksponensial (fase log) yang terjadi dari hari ke-2 hingga hari ke 13. Fase ini *N. salina* mengalami pertumbuhan yang signifikan, sel membelah dengan laju konstan, aktivitas metabolik konstan dan keadaan pertumbuhan seimbang antara nutrien dan kenaikan populasi *N. salina* (Hardiyanto Dan Azim, 2012). Fase eksponen *N. salina* mengalami kenaikan pertumbuhan hingga hari optimum, setelah mencapai pertumbuhan optimum *N. salina* mengalami penurunan populasi yang dinamakan fase kematian. Hal ini disebabkan karena semakin berkurangnya nutrien dalam medium kultur akibat semakin meningkatnya jumlah populasi *N. salina* yang mengonsumsi nutrien dan tidak adanya penambahan nutrien selama pertumbuhan (Ru'yatin dkk, 2015), dan penumpukan racun semakin meningkat (Hardiyanto Dan Azim, 2012).

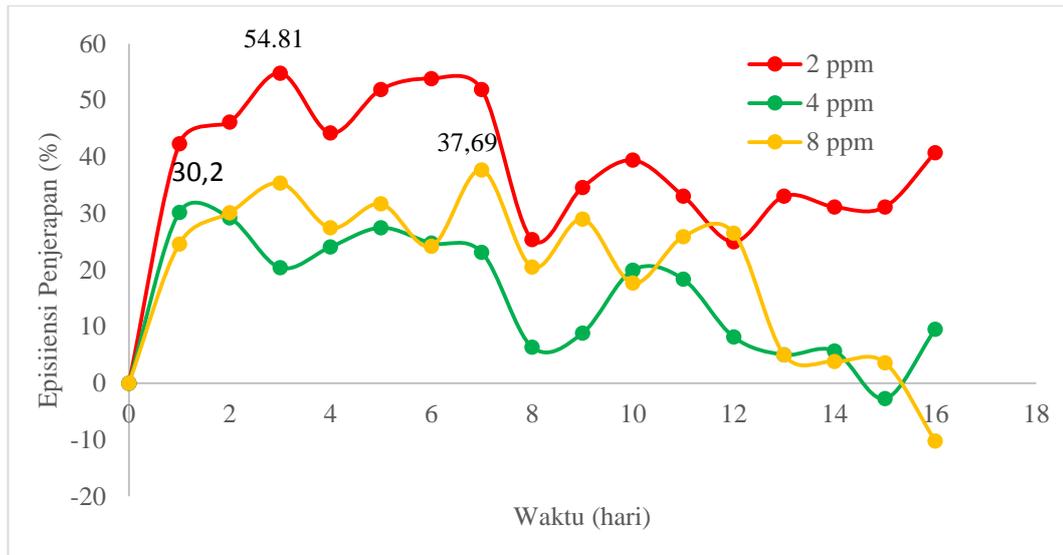
Pertumbuhan *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm memiliki pola pertumbuhan yang sama dengan kontrol dimana *N. salina* mengalami fase lag pada hari ke-1, kemudian mengalami kenaikan pertumbuhan hingga hari optimum. Pertumbuhan optimum pada *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} 2 dan 4 ppm terjadi pada hari ke-13, berbeda halnya dengan *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} 8 ppm terjadi pada hari ke-12. Kemudian, mengalami fase kematian hingga hari ke-16.

Populasi *N. salina* dalam kultur yang terpapar Mn^{2+} 2 dan 4 ppm lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol pada waktu pertumbuhan optimum. Hal ini disebabkan karena ion logam Mn^{2+} merupakan logam esensial yang dibutuhkan oleh tumbuhan pada konsentrasi tertentu, akan tetapi dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan efek toksik bagi organisme (Widowati, 2008). Ion Mn^{2+} berperan dalam beberapa proses metabolisme, terutama dalam fotosintesis, aktivasi dan kofaktor berbagai jenis enzim, seperti Mn-katalase, karboksilase piruvat, dan karboksinase fosfo-enolpiruvat (Ducic dan Polle, 2005).

Jumlah populasi *N. salina* dalam kultur yang terpapar Mn^{2+} 2 ppm lebih tinggi jika dibandingkan dengan 4, sedangkan jumlah populasi *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} 4 ppm lebih tinggi dari 8 ppm. Semakin tinggi konsentrasi ion logam yang dipaparkan maka semakin besar pula hambatan pertumbuhan. *N. salina* yang dipaparkan ion Mn^{2+} 8 ppm memiliki hambatan pertumbuhan yang lebih tinggi daripada *N. salina* yang dipaparkan ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 2 dan 4 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berbanding terbalik dengan jumlah populasi *N. salina*. Menurut Hala (2013), penurunan populasi *N. salina* sangat bergantung pada konsentrasi ion logam. Konsentrasi ion logam yang lebih tinggi menyebabkan toksisitas ion logam berat lebih tinggi sehingga kemampuan adaptasi *N. salina* tidak dapat mengimbangi kuantitas dan toksisitas ion logam berat dalam medium dan menghambat sel-sel *N. salina* melakukan pertumbuhan dan reproduksi.

4.2 Efisiensi penjerapan *N. salina* terhadap ion Mn^{2+}

Efisiensi penjerapan (Ep) Mn^{2+} oleh *N. salina* setelah dipaparkan ke dalam medium pertumbuhan ditentukan berdasarkan persamaan 8. Nilai Ep untuk Mn^{2+} dengan konsentrasi 2; 4; dan 8 ppm oleh *N. salina* ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 7. Grafik Ep *N. salina* setelah pemaparan Mn^{2+} 2; 4; dan 8 ppm

Penjerapan ion-ion dimulai pada hari ke-1. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Ep ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm oleh *N. salina* pada hari ke-1 berturut-turut adalah 42,31; 30,2 dan 25 %. Penjerapan maksimum *N. salina* terhadap Mn^{2+} 2 ppm terjadi pada hari ke-3 dengan konsentrasi logam yang terjerap sebesar 2,85 ppm dan nilai Ep sebesar 54,81 %. Konsentrasi 4 ppm, nilai efisiensi penjerapan maksimum terjadi pada hari ke-1 yaitu sebesar 30,2 % dengan konsentrasi terjerap sebesar 2,22 ppm. Sedangkan pada konsentrasi 8 ppm, nilai Ep maksimum terjadi pada hari ke-7 sebesar 37,69 % dengan konsentrasi yang terjerap sebesar 4,9 ppm. Mikroalga memiliki kemampuan menjerap ion logam berat pada dinding sel (adsorpsi) dan penyerapan logam berat ke dalam sel (absorpsi) (Moreno-Garrido dkk., 2000). Mekanisme akumulasi beberapa logam pada mikroalga terjadi melalui transpor biologi aktif secara intrasel. Ion logam berat beracun akan diasingkan dari sitoplasma sel melalui tiga cara yang mungkin, yaitu: pengkhelatan intraseluler oleh polimer biologis; pengendapan logam berat pada permukaan dinding sel; atau adsorpsi permukaan melalui pengikatan ion logam oleh gugus

fungsi kimia di dinding sel (Moreno-Garrido dkk., 1998). *N. salina* mempunyai kemampuan mengadsorpsi ion-ion logam yang tinggi karena mengandung gugus fungsi pada dinding sel seperti karboksil, amina, amida, dengan 17 asam amino yang esensial (Hala, 2013). Adsorpsi berlangsung melalui transport aktif dan prosesnya berlangsung lebih lambat dari pada adsorpsi. Logam berat yang terakumulasi dalam sel yang teradsorpsi akan berkaitan dengan protein pengikat logam seperti metationein dan fitokelatin, selanjutnya akan terakumulasi di vakuola (Fauziah, 2011)

Efisiensi Penjerapan untuk konsentrasi 2 ppm mengalami kenaikan mulai dari hari ke-1 hingga hari ke-3 yang merupakan puncak tertinggi. Pada hari ke-4 hingga hari ke-16, Ep mengalami kenaikan dan penurunan. Hal ini terjadi karena selama proses biosorpsi, *N. salina* akan berusaha mencapai titik keseimbangan penjerapan logam yang dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan gugus aktif *N. salina* (Sembiring dkk, 2009).

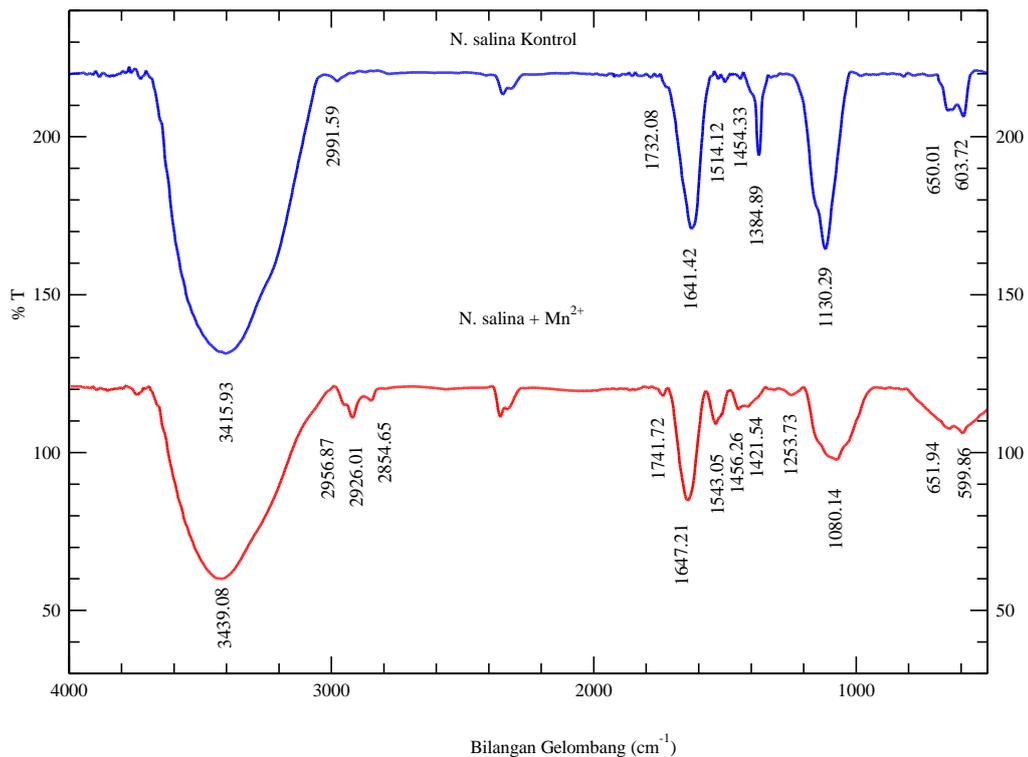
Efisiensi Penjerapan untuk konsentrasi 4 ppm pada hari ke-2 mengalami penurunan yang kecil hingga hari ke-3 dibandingkan hari ke-1 yang merupakan puncak efisiensi penjerapan yang paling tinggi. Pada hari ke-4 hingga hari ke-16, Ep mengalami kenaikan dan penurunan, sama halnya dengan efisiensi penjerapan pada konsentrasi 2 ppm.

Efisiensi Penjerapan untuk konsentrasi 8 ppm mulai dari hari ke-1 hingga hari ke- 12 mengalami kenaikan dan penurunan. Pada hari ke-7 merupakan puncak efisiensi penjerapan tertinggi. Selanjutnya pada hari ke-13 mengalami penurunan hingga hari ke-16, hal ini terkait dengan kemampuan desorpsi pada mikroalga sebagai bentuk pertahanan diri. Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali

ion/molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada absorben (Kurniawan, 2014).

4.3 Identifikasi Gugus Fungsi dengan Menggunakan FT-IR

Spektrum infra merah (IR) dari residu kontrol *N. salina* dan residu *N. salina* terpapar Mn^{2+} dapat dilihat pada Gambar 9. Gugus fungsi yang terdapat pada *N. salina* sebelum dan setelah pemaparan Mn^{2+} dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 8. Spektrum IR (a) kontrol dan (b) residu *N. salina* terpapar Mn^{2+}

Spektrum IR mengindikasikan adanya beberapa gugus fungsi yang terdapat pada residu kontrol *N. salina* yakni sebagai berikut bilangan gelombang 3415,93 cm⁻¹ untuk rentangan O-H, bilangan gelombang 2991,59 cm⁻¹ untuk rentangan C-H, bilangan gelombang 1641,42 cm⁻¹ untuk rentangan C=C, bilangan gelombang 1384,89 cm⁻¹ untuk bengkakan CH₃ dan bilangan gelombang 1130,29 cm⁻¹ untuk rentangan C-O.

Tabel 1. Data spektrum IR kontrol dan residu *N. salina* terpapar Mn^{2+}

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
		Residu Kontrol <i>N.salina</i>	Residu <i>N.salina</i> terpapar ion Mn^{2+}
1	Rentangan C-O	1130,29	1080,14
2	Bengkokan C=C	1641,42	1647,21
3	Rentangan O-H	3415, 93	3439,08

Spektrum IR untuk residu *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} menunjukkan adanya puncak-puncak serapan yang mirip dengan spektrum IR untuk residu kontrol *N. salina*. Spektrum IR untuk residu *N. salina* yang dipaparkan Mn^{2+} menunjukkan puncak serapan untuk rentangan C-O pada bilangan gelombang 1080,14 cm^{-1} . Hal ini berarti pemaparan Mn^{2+} menyebabkan pergeseran bilangan gelombang sekitar 50 cm^{-1} . Selain itu, pergeseran juga terjadi pada puncak serapan untuk rentangan O-H pada bilangan gelombang 3439,08 cm^{-1} sebesar 23 cm^{-1} . Pergeseran bilangan gelombang tersebut menunjukkan adanya proses pengikatan logam pada gugus fungsi yang dimiliki oleh *N. salina*. Proses pengikatan ion logam pada *N. salina* ditunjukkan dengan bergesernya puncak spektrum kontrol lebih besar dari 20 cm^{-1} dibandingkan dengan spektrum sampel yang dipaparkan logam (Hala, 2013).

Spektrum IR lainnya pada residu *N. salina* terpapar Mn^{2+} memperlihatkan adanya rentangan N-H dengan bilangan gelombang sebesar 1647,21 cm^{-1} . Hasil pergeseran bilangan gelombang relatif kecil jika dibandingkan dengan residu kontrol yang berkisar 6 cm^{-1} .

Berdasarkan hasil analisis di atas, diketahui bahwa gugus fungsi yang dominan berperan dalam penjerapan ion logam adalah gugus fungsi C-O dan -OH, jadi pengikatan logam terjadi pada atom O yang terikat pada atom C dan H yang ditandai dengan adanya pergeseran bilangan gelombang lebih besar dari 20 cm^{-1} .

Atom oksigen pada gugus C-O dan -OH memiliki pasangan elektron bebas yang dapat berinteraksi dengan ion logam yang mempunyai orbital kosong. Pasangan elektron bebas tersebut akan menempati orbital kosong yang dimiliki oleh ion logam sehingga membentuk kompleks (Abbas dkk., 2014). Mn^{2+} memiliki 6 bilangan koordinasi (Keren dkk., 2002), yang memungkinkan membentuk kompleks dengan 6 ligand -OH maupun C-O melalui ikatan kovalen koordinasi (Pranakasih, 2015).

Proses biosorpsi terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara berbeda. Pertama, pertukaran ion monovalen dan divalen seperti Na^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Kedua adalah pembentukan kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsi yang terdapat pada dinding sel (Abbas dkk., 2014).

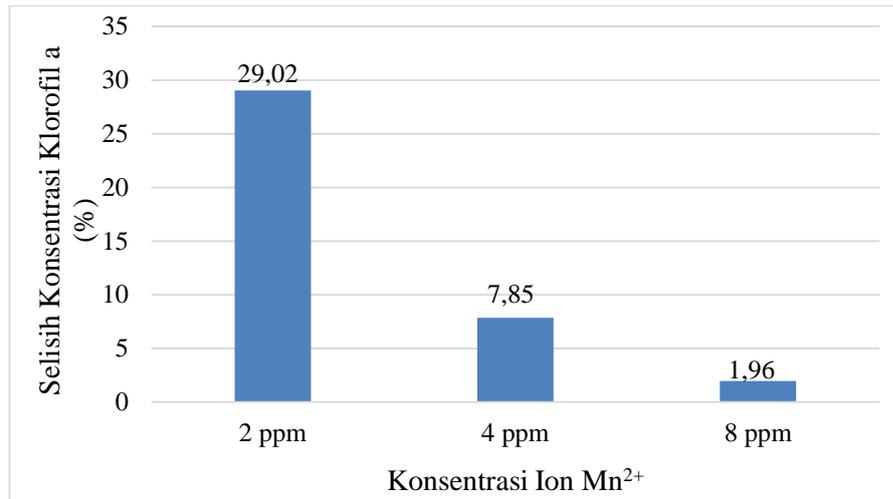
4.4 Penentuan Konsentrasi Klorofil

Hasil penentuan spektrofotometer UV-Vis terhadap kandungan klorofil a pada kontrol dan residu *N. salina* terpapar Mn^{2+} ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi klorofil a pada kontrol dan residu *N. salina* terpapar Mn^{2+}

Konsentrasi Klorofil a (mg/m^3)			
kontrol	Mn^{2+} 2 ppm	Mn^{2+} 4 ppm	Mn^{2+} 8 ppm
339,88	478,81	368,82	346,69

Konsentrasi klorofil a pada *N. salina* pada kontrol sebesar 339,88 mg/m^3 , dan untuk *N. salina* yang dipaparkan ion logam Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm berturut-turut sebesar 478,81; 368,82 dan 346,69 mg/m^3 . Semakin meningkatnya konsentrasi logam yang dipaparkan maka konsentrasi klorofil akan semakin menurun, hal ini disebabkan karena pada konsentrasi logam terlalu besar tidak dapat ditolerir dan akhirnya bersifat toksik bagi *N. salina* (Hala, 2013).



Gambar 9. Grafik persentase selisih konsentrasi klorofil a antara kontrol dengan *N. salina* terpapar Mn²⁺

Gambar 9 memperlihatkan bahwa penambahan ion logam Mn²⁺ 2, 4 dan 8 ppm dapat menurunkan persentase selisih konsentrasi klorofil a yang dihasilkan *N. salina*, berturut-turut sebesar 29,02; 7,85 dan 1,96 %. Besarnya konsentrasi klorofil a pada *N. salina* yang terpapar logam Mn²⁺ menunjukkan bahwa *N.Salina* membutuhkan logam Mn²⁺ dalam pertumbuhannya dibandingkan tanpa logam Mn²⁺. Hal ini disebabkan karena logam Mn²⁺ merupakan logam esensial bagi *N. salina*, namun dalam batas konsentrasi yang rendah. Ion Mn²⁺ memegang peranan penting pada proses fotosintesis yaitu sebagai transfer elektron dalam fotosistem II (Millaleo dkk., 2010). Ion Mn²⁺ sangat dibutuhkan dalam biosintesis klorofil melalui aktivasi beberapa enzim spesifik (Lidon dkk., 2004).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah disimpulkan bahwa:

1. Pola pertumbuhan *N. salina* pada medium yang dipapar ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 2 ppm lebih besar dibandingkan dengan populasi *N. salina* pada medium yang dipapar ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 4 ppm, 8 ppm dan kontrol.
2. Efisiensi penjerapan maksimum ion Mn^{2+} dengan konsentrasi 2, 4 dan 8 ppm berturut-turut 54,81; 30,2 dan 37,69 %.
3. Gugus fungsi yang dominan berperan dalam proses biosorpsi ion Mn^{2+} oleh *N. salina* adalah C-O dan O-H
4. Konsentrasi klorofil setelah pemaparan ion logam Mn^{2+} meningkat dengan urutan 2 ppm > 4 ppm > 8 ppm. Kenaikan konsentrasi Mn^{2+} berbanding terbalik dengan kenaikan konsentrasi klorofil pada *N. salina*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Sebaiknya dilakukan juga penelitian dengan variasi salinitas yang berbeda-beda sehingga dapat diketahui salinitas optimum pertumbuhan *N. salina* khususnya pada salinitas air payau.
2. Sebaiknya biosorpsi mikroalga *N. salina* diaplikasikan secara langsung pada limbah cair untuk mengetahui kemampuan mikroalga tersebut dalam menjerap logam berat dalam limbah cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. H., Ismail, I. M., Mostafa T. M., dan Sulaymon, A. H., 2014, Biosorption of Heavy Metals: A Review, *Journal of Chemical Science and Technology*, **3**: 74-102.
- Ai N. S., dan Banyo y., 2011, Konsentrasi Klorofil Daun Sebagai Indikator Kekurangan Air Pada Tanaman, *Jurnal Ilmiah Sains 11(2):166-173*
- Akoto, O., Bruce, T. N., Darkol, G. 2008, Heavy metals pollution profiles in streams serving the Owabi reservoir, *Afri.J.of Environ.Sci. and Technol.*, **2(11)**: 354-359.
- Al-Najare, G. A. Jaber, A. A. Talal, A.H. and Hantoush, A. A, 2015, The concentrations of heavy metals (copper, nickel, lead, cadmium, iron, manganese) in *Tenuulosa ilisha* (Hamilton,1822) hunted from Iraqi Marine Water, *Mesopotamia Environmental Journal*, **1(3)**: 31-43.
- Andarwulan, N., dan Faradilla, R. H. F., 2012, *Pewarna Alami untuk Pangan*, South East Asian Food and Agricultural Science and Technology, Bogor.
- Ariffeni, 2011, *Biosorpsi Logam Mn (Vii) dengan Menggunakan Jamur Saccharomyces Sp. yang Diisolasi dari Limbah Padat Coca Cola*, Skripsi Di Publikasikan, Program Sarjana, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.
- Astuti W., Jamali A. dan Amin M., 2007, Desalinasi Air Payau Menggunakan Surfactant Modified Zeolite (SMZ), *Jurnal Zeolit Indonesia*, **6(1)**: 32-37.
- Bajguz, A., 2011, Supression of *Chorella vulgaris* Growth by Cadmium, Lead and Copper Stress and its Restoration by Endogenous Brassinolide, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **60**: 406-416.
- Bachtiar, E., 2007, *Penelusuran Sumber Daya Hayati Laut (Alga) sebagai Biotarget Industri*, Universitas Padjajaran, Jatinagor.
- Barleani, A.A., 2005, *Pemodelan Proses Biosorpsi logam Berat pada Reaktor Fixed Bed : Suatu Kajian Analisis Sensitivitas*, Tesis Dipublikasikan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang, (online), (<https://core.ac.uk/download/pdf/11711939.pdf>, diakses 17 pebruari 2016)
- Cai T., 2012, *Cultivation of Nannochloropsis salina and Synechocystis sp. PCC6803 in Anaerobic Digestion Effluent for Nutrient Removal and Lipid Production*, Thesis, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., and Mitchell, L. G., 2003. *Biologi Jilid 1* (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.

- Dučić T., dan Polle A., 2005, Transport and Detoxification of Manganese and Copper in Plants, *Braz. J. Plant Physiol*, **17**(1): 103-112
- Fauziah, 2011, Efektivitas Penyerapan Logam Kromium (Cr VI) dan Kadmium (Cd) oleh *Scenedesmus dimorphus*, UIN, Jakarta
- Febriwahyudi T.C., dan Hadi W., 2015, Resirkulasi Air Tambak Bandeng Dengan Slow Sand Filter, *Teknik Pomits*, **1**(1): 1-5
- Guiry, M. D., 2012, *Nannochloropsis salina*, (Online), (<http://www.marine-species.org/aphia.php?p=taxdetails&id=376044>, diakses tanggal 9 Februari 2016).
- Gultom, M. S., 2014, *Distribusi Logam Berat Cr dan Mn pada Sedimen di Sekitar Perairan Pelabuhan Panjang dengan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*, Skripsi diterbitkan, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung, Lampung.
- Hala, Y., 2013, *Kajian Mekanisme Penjerapan Ion Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, dan Pb²⁺ pada Nannochloropsis salina dalam Medium Conwy*, Disertasi tidak dipublikasikan, Program Doktor, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hala, Y., Syahrul, M., Suryati, E., dan Taba, P., 2012, *Biosorpsi of Zn²⁺ With Nannochloropsis salina*, Makalah disajikan dalam seminar, International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and its Application (INSPINSA-2), Semarang, 4 Oktober 2012, 1-5.
- Harjuma, 2015, Biosorpsi Mn²⁺ dan Pengaruhnya Terhadap Konsentrasi Klorofil Pada *Nannochloropsis salina* di Lingkungan Perairan Laut, Skripsi tidak dipublikasikan, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin.
- Hartini, E., 2012, Cascade Aerator dan Bubble Aerator dalam Menurunkan Kadar Mangan Air Sumur Gali, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, **8**(1): 42-50.
- Haryanti, M. S., Mahardika, K., Permana, N. G., dan Fahrudin, 2010, *Kajian Bakteri Pemacu Pertumbuhan Mikroalga Sebagai Sumber Pakan Alami pada Pembenihan Ikan dan Udang*, Laporan Balai Besar Riset Perikanan Budidaya, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Hendriyani, I. S dan Setiari, N., 2009, Kandungan Klorofil dan Pertumbuhan Kacang Panjang (*Vigna sinensis*) pada Tingkat Penyediaan Air yang Berbeda, *J. Sains & Mat*, **17**(3): 145-150.
- Hermanto M.B., Sumardi, Hawa L.C., Fiqtinovri S.M., 2011, Perancangan Bioreaktor Untuk Pembudidayaan Mikroalga, *Jurnal Teknologi Pertanian*, **12**(3): 153-162.

- Inthe I.C.E, 2012, Efek Percahayaan Terhadap Produksi Biomassa *Nannochloropsis sp.* Pada Reaktor Pelat Datar, Skripsi Dipublikasikan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Keren, N., Kidd, M. J., Penner-Hahn, J. E., and Pakrasi, H. B., A, Light-Dependent Mechanism for Massive Accumulation of Manganese in the Photosynthetic Bacterium *Synechocystis sp.* PCC 6803, *Biochemistry*, 41:15085-15092.
- Kimball, J. W., 1992, *Biologi Umum Jilid 1*, Terjemahan oleh H. Siti Soetarmi Tjitrosomo dan Nawangsari Sugiri, Erlangga, Jakarta.
- Kurniawan J. I dan Aunurohim, 2014, Biosorpsi Logam Zn²⁺ dan Pb²⁺ Oleh Mikroalga *Chlorella sp*, *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(1): 2337-3520.
- Li, R., P. Guo, M. Baum, S. Grando, and S. Ceccarelli, 2006, Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley, *Agricultural Sciences in China*, 5(10): 751-757.
- Lidon, F. C., Barreiro, M., and Ramalho, J., 2004, Manganese Accumulation in Rice: Implications For Photosynthetic Functioning, *J. Plant Physiol*, 161: 1235-1244.
- Mata T.M., Martins A.A., and Caetano N.S., 2010, Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renew. Sustainable Energy Rev.*, 14: 217–232.
- Martuti N.K.T, 2012, Kandungan Logam Berat Cu Dalam Ikan Bandeng, Studi Kasus Di Tambak Wilayah Tapak Semarang, *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 88-94
- Meena A.K., Kadirvelu K., Mishraa G.K., Rajagopal C, and Nagar P.N., 2008, Adsorption of Pb(II) and Cd(II) metal ions from aqueous solutions by mustard husk, *J. Hazard. Mater.*, 150: 619–625.
- Millaleo, R., Reyez-Diaz, M., Ivanov, A. G., Mora, M. L., and Alberdi, M., 2010, Manganese as Essential and Toxic Element For Plants: Transport, Accumulation and Resistance Mechanisms, *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 10(4): 476-494.
- Moreno-Garrido, I., Blasco J., Gonzalez-Delvalle M., Lubian L. M. 1998. Differences in copper accumulation by the marine microalga *Nannochloropsis gaditana* Lubian, submitted to two different thermal treatments, *Ecotoxicol. Environ. Restor.* 1: 43-47.
- Normaningsih, Y., 2013 (Oreochormis niloticus L) Di Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar, *Jurnal BIOSCIENTIAE*, 1(1): 1-6.
- Olivares E, 2003. The Effect of Lead on Phytochemistry of *Tithonia diversifolia*: Exposed to Roadside Automotive Pollution or Grown in Pots of Pb Supplemented Soil. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 15(3): 149-158.

- Pahlavanzadeh H., Keshtkar A.R., Safdari J., and Abadi Z., 2010, Biosorption of nickel(II) from aqueous solution by brown algae: Equilibrium, dynamic and thermodynamic studies, *Journal of Hazardous Materials*, **175**: 304–310
- Petersen F., Aldrich C., Esau A., and Qi BC., 2005, Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions, Cape Peninsula University of Technology, University of Stellenbosch.
- Pranakasih, 2015, *Biosorpsi Co^{2+} dan Dampaknya Terhadap Konsentrasi Klorofil Pada *Nannochloropsis salina* di Lingkungan Perairan Laut*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin.
- Prihantini N. B., Damayanti D., dan Yuniati R., 2007, Pengaruh Konsentrasi Medium Ekstrak Tauge (Met) Terhadap Pertumbuhan *Scenedesmus* Isolat Subang, *MAKARA SAINS*, **11**(1):1-9.
- Raize, O., Argaman, Y., and Yannai, S., 2004, Mechanism of Biosorption of Different Heavy Metals by Brown Marine Microalgae, *Biotechnol. Bioeng.*, **87** (4), 451-458.
- Rios V.G., Pelegrin Y.F., Robledo D., Cozatl D.M., Sanchez R.M., and Bouchot G.G, 2007, Cell Wall Composition Affects Cd^{2+} Accumulation and Intracellular Thiol Peptides in Marine Red Algae, *Aquat. Toxicol.*, **81**: 65-72.
- Ru'yatin¹, Rohyani I.S., dan Ali L., 2015, Pertumbuhan *Tetraselmis* dan *Nannochloropsis* pada Skala Laboratorium, *PSNMBI*, **1**(2): 296-299
- Said N.I., 2005, Metode Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Penyediaan Air Minum Domestik, *JAI*, **1**(5), 239-250.
- Schlagenhauser, C., 2012, *Nannochloropsis Salina*, (online), (<http://www.kakerlakenparade.de/nannochloropsis.html>), diakses 05 Maret 2016).
- Sembiring, Z., Buhani, Suharso, dan Sumadi, 2009, Isoterm Adsorpsi Ion Pb (II), Cu (II) dan Cd (II) pada Biomassa *Nannochloropsis sp* yang Dienkapsulasi Akuagel Silika, *Indo. J. Chem.*, **9** (1), 1-5.
- Setiari, N., dan Nurhayati, Y., 2009, Eksplorasi Kandungan Klorofil pada beberapa Sayuran Hijau sebagai Alternatif Bahan Dasar Food Supplement, *BIOMA*, **11**(1), 6-10.
- Setiyono, A., Studi Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Gali Didesa Karangnunggal Kecamatan Karangnunggal Kabupaten Tasikmalaya, *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia*, **10**(1): 973-981
- Sopiah N., Mulyanto A., dan Sehabudin S., 2012, Pengaruh Kelimpahan Sel Mikroalgae Air Tawar (*Chlorella sp.*) Terhadap Penambatan Karbondioksida, Balai Teknologi Lingkungan, Serpong.

- Sudarmawan, R.A., Dewi, P.L., Paridi, N.P., Seharuddin, Sholihan, M., Umroh, F., Suriati, Adawiyah, R., dan Saputra, A., 2011, *Teknologi Budidaya Pakan Alami*, (online), (<http://scribd.com/doc/89960311/laporan-praktikum-teknologi-budidaya-perairan-laut>), diakses 11 Maret 2016).
- Suguna M., Reddy A.S, Kumar N.S., and Krishnaiah A., 2010, Biosorption of Manganese(II) Ions from Aqueous Solution by Glutaraldehyde Cross-linked Chitosan Beads: Equilibrium and Kinetic Studies, *Adsorption Science & Technology*, **28**(3): 213-228.
- Supardi I. R., Ramang M., dan Bahar R., 2013, Analisis Pb Dalam Beberapa Jenis Ikan Dari Perairan Suppa Kabupaten Pinrang, Skripsi tidak dipublikasikan, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin.
- Wahab, A. W., Hala, Y., dan Fibiyanthy, 2012, Pengaruh Medium Tercemar Logam Pb dan Cu terhadap Pertumbuhan *Nannochloropsis salina*, *Jurnal Indonesia Chimica Acta*, **5**(2), 41-49.
- Wahyurini E.T., 2007, Pengaruh Perbedaan Salinitas Air Terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup Benih Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*), 67-97.
- Wicaksono G., 2014, *Pengaruh Pemberian Spektrum Cahaya Yang Berbeda Terhadap Kandungan Klorofil Spirulina sp.*, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Widowati, W., Sastiono., A., dan Rumampuk, R. J., 2008, *Efek Toksik Logam*, ANDI Yogyakarta, Yogyakarta.
- Widowati H., 2011, Pengaruh Logam Berat Cd, Pb Terhadap Perubahan Warna Batang Dan Daun Sayuran, *El-Hayah*, **1**(4): 167-173
- Yudo S., 2006, Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta, *JAI*, **2**(1): 1-15.
- Yuliani D., 2009, Penentuan Kadar Logam Mangan (Mn) dan Krom (Cr) Dalam Air Minum Hasil Penyaringan Yamaha Water Purifier Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom, Skripsi Dipublikasikan, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Lampiran 1. Komposisi Medium Conwy dan Vitamin

a. Komposisi Medium Conwy

1. Komposisi stok A

No	Nama Bahan	Jumlah (g)
1	FeCl ₂ .6H ₂ O	1,30
2	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,36
3	H ₃ BO ₃	33,60
4	EDTA (Na-Salt)	45,00
5	NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	20,00
6	NaNO ₃	100,00
7	Akuades	1 L

2. Komposisi stok B

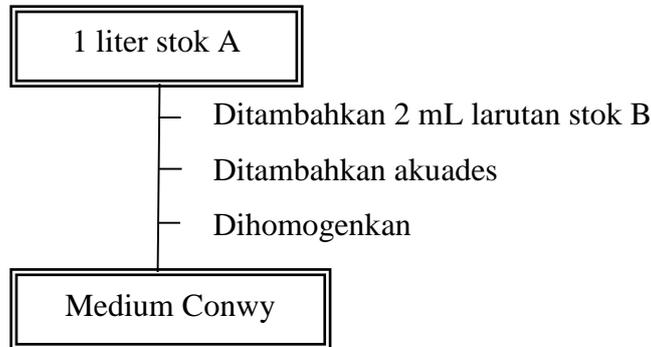
No	Nama Bahan	Jumlah (g)
1	ZnCl ₂	2,10
2	CoCl ₂ .6H ₂ O	2,00
3	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,90
4	CuSO ₄ .5H ₂ O	2,00
5	Akuades	100 mL

b. Komposisi Vitamin

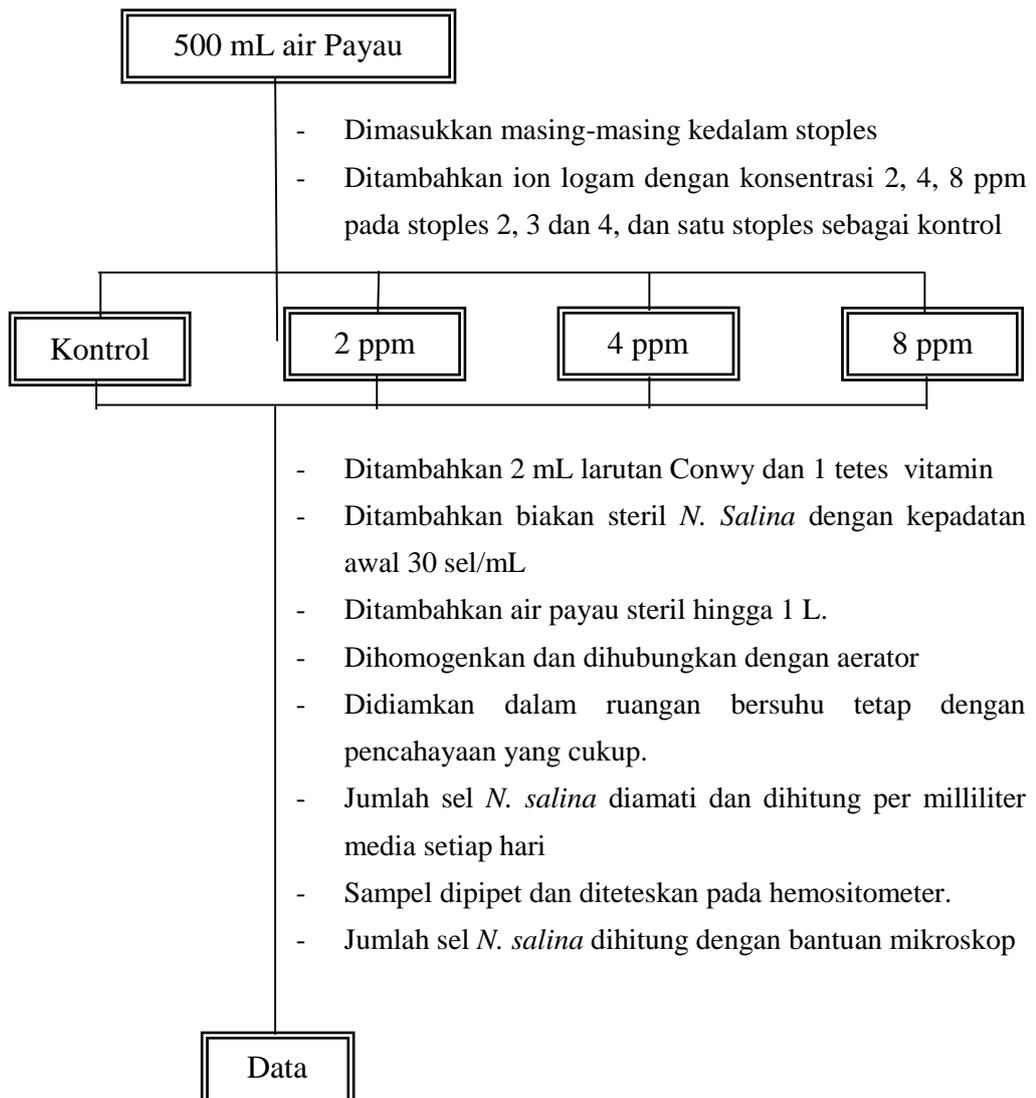
No	Nama Bahan	Jumlah (g)
1	Vitamin B ₁₂	10,00
2	Vitamin B ₁	200,00
3	Akuades	100 mL

Lampiran 2. Bagan kerja

1. Pembuatan Medium Conwy

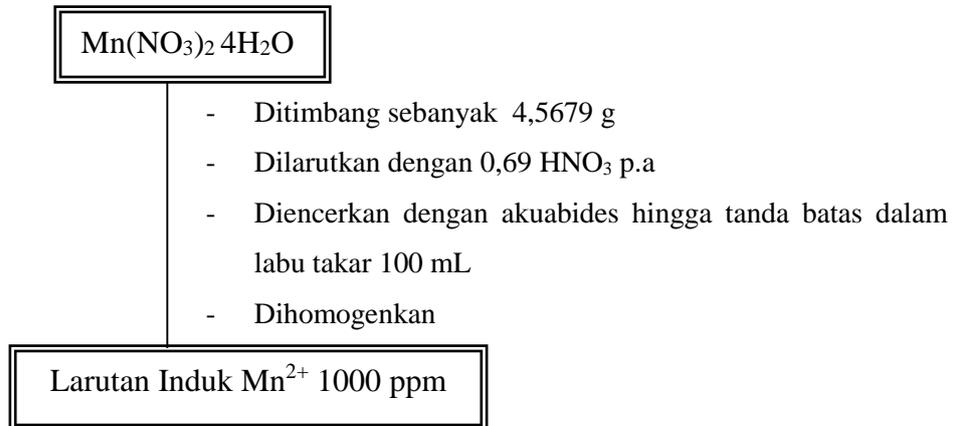


2. Penentuan Pola Pertumbuhan *N. salina* yang terpapar Mn^{2+}

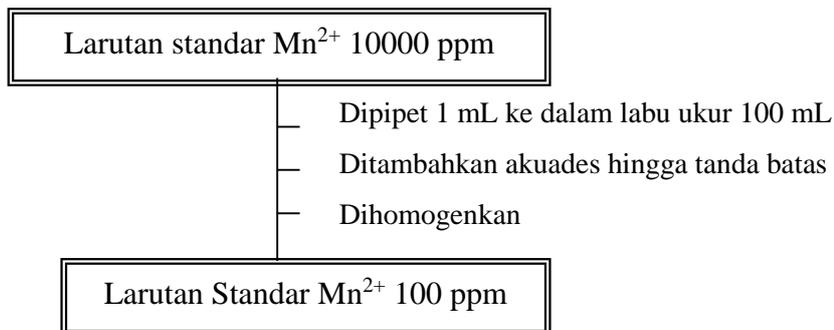


3. Pengukuran dengan SSA

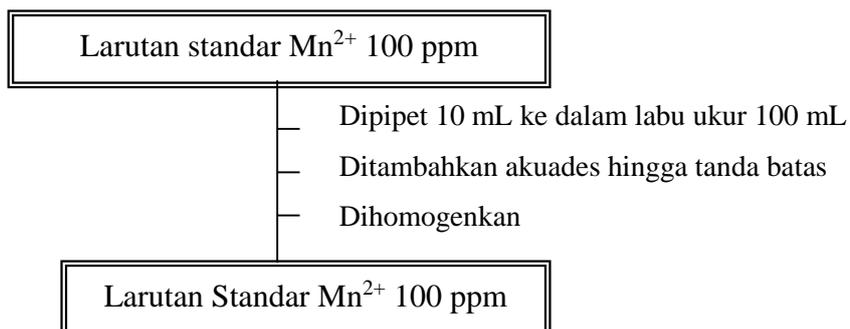
3.1 Pembuatan Larutan Induk 10000 ppm



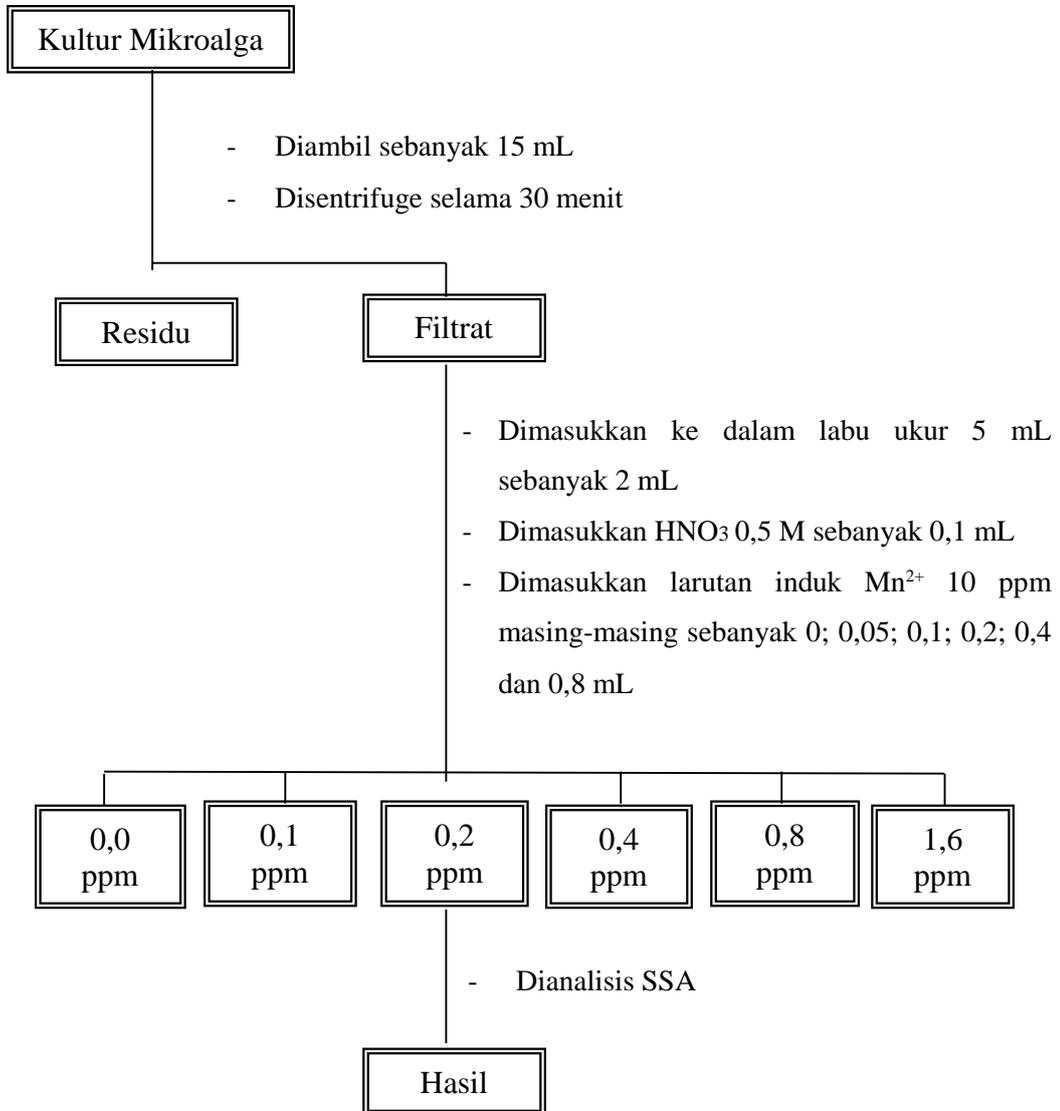
3.2 Pembuatan Larutan Induk 100 ppm



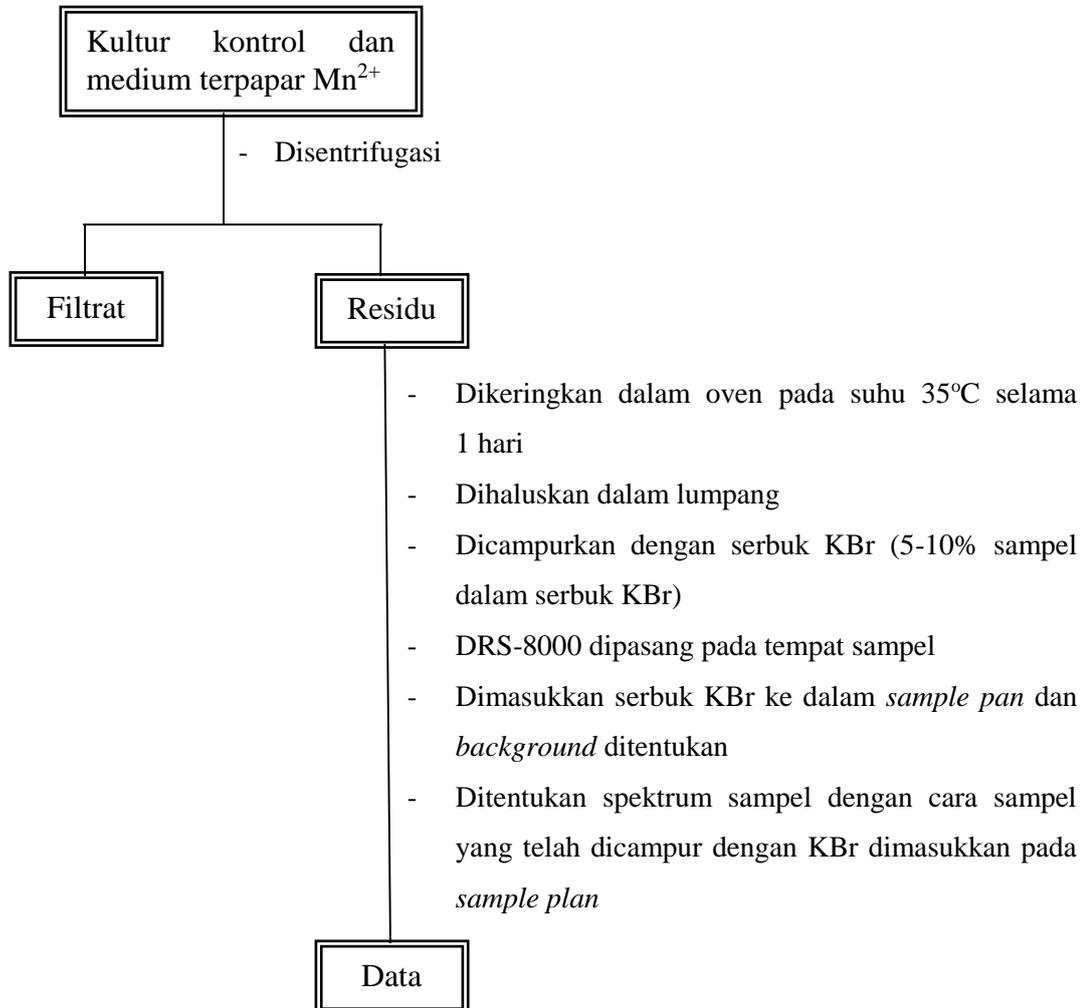
3.3 Pembuatan Larutan Induk 10 ppm



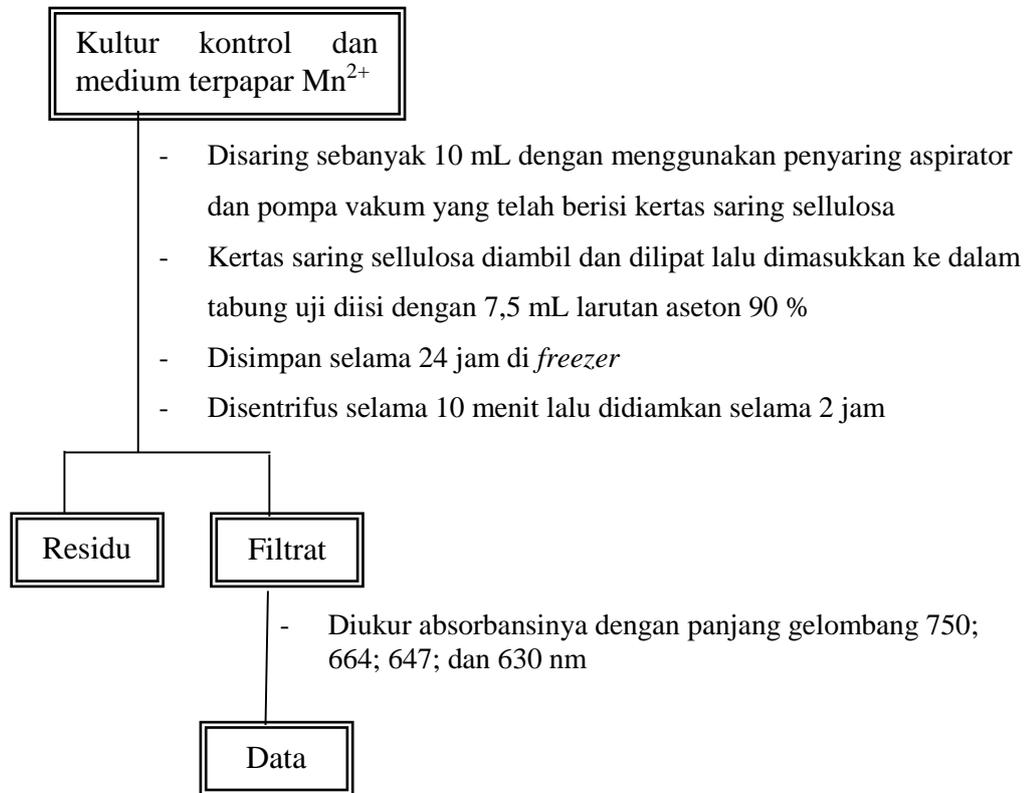
4. Proses Pengukuran dengan Menggunakan SSA



5. Identifikasi Gugus Fungsi *N. salina* Menggunakan FT-IR



6. Penentuan Kandungan Klorofil dengan Spektrofotometer UV-VIS



Lampiran 3. Pembuatan Larutan induk Mn²⁺ 10000 ppm dalam 100 mL

$$\begin{aligned}\text{Bobot Mn(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Mr Mn(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Mn}^{2+}} \times 10000 \text{ ppm} \times 0,1 \text{ L} \\ &= \frac{250,96}{54,94} \times 10000 \text{ ppm} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 4567,89 \text{ mg} = 4,5679 \text{ g}\end{aligned}$$

Lampiran 4. Data Pertumbuhan *N. salina* Kontrol dan dengan Pemaparan Ion Mn^{2+}

Hari	Populasi <i>N. salina</i> ($\times 10^4$ sel/mL)			
	Kontrol	Mn^{2+} 2 ppm	Mn^{2+} 4 ppm	Mn^{2+} 8 ppm
0	30,5	29,5	26,27	28,5
1	44,25	42,25	39,5	37
2	63,5	73	63	56,75
3	69,25	89	70	59,25
4	74,6	96	77,25	63,5
5	76,5	104,75	80	64,5
6	78	101,75	78,25	71,25
7	79	110	86	72,5
8	82,25	105,5	90,75	83,5
9	85,75	112,75	83	94,25
10	88	120,75	96,5	98
11	97,25	138,5	115,25	102,5
12	108,25	175	130	108,5
13	133,25	200	160	98
14	70,5	164	134,5	77
15	56	133,5	81,25	50,75
16	37,75	62,25	59,25	18,75

Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran SSA dengan Metode Standar Adisi

Kondisi Pengukuran :

Panjang Gelombang : 279,5 nm

Gas : Asitilen-Udara

Slit : 0,7 nm

Ave HCL : 3,0 mA

Merek alat : Buck Scientific 205

Data Hasil Pengukuran AAS

Hari ke	2 ppm		4 ppm		8 ppm	
0	x	y	x	y	0,0	0,037433
	0,0	0,145959	0,1	0,043958	0,1	0,041106
	0,2	0,155440	0,2	0,049327	0,2	0,04348
	0,8	0,199167	0,4	0,056856	0,4	0,054422
	1,6	0,254816	0,8	0,074813	0,8	0,069715
			1,6	0,110954	1,6	0,094851
1	0,0	0,039322	0,0	0,032590	0,0	0,030446
	0,1	0,044119	0,1	0,039603	0,1	0,035435
	0,2	0,042734	0,2	0,041049	0,2	0,039057
	0,4	0,052676	0,4	0,049979	0,4	0,046593
	0,8	0,064515	0,8	0,065174	0,8	0,060827
	1,6	0,091286	1,6	0,099465	1,6	0,094297
2	0,0	0,041332	0,0	0,033307	0,0	0,030899
	0,1	0,044965	0,1	0,040597	0,1	0,033817
	0,2	0,048277	0,2	0,040355	0,2	0,039584
	0,4	0,055147	0,4	0,051378	0,4	0,047247
	0,8	0,073053	0,8	0,069346	0,8	0,064802
	1,6	0,099671	1,6	0,099663	1,6	0,097732
3	0,0	0,05886	0,0	0,058860	0,0	0,048821
	0,1	0,063577	0,1	0,063577	0,1	0,058169
	0,2	0,068185	0,2	0,068185	0,2	0,065042
	0,4	0,092897	0,4	0,092897	0,4	0,077002
	0,8	0,116167	0,8	0,116167	0,8	0,108833
	1,6	0,158867	1,6	0,158867	1,6	0,167589

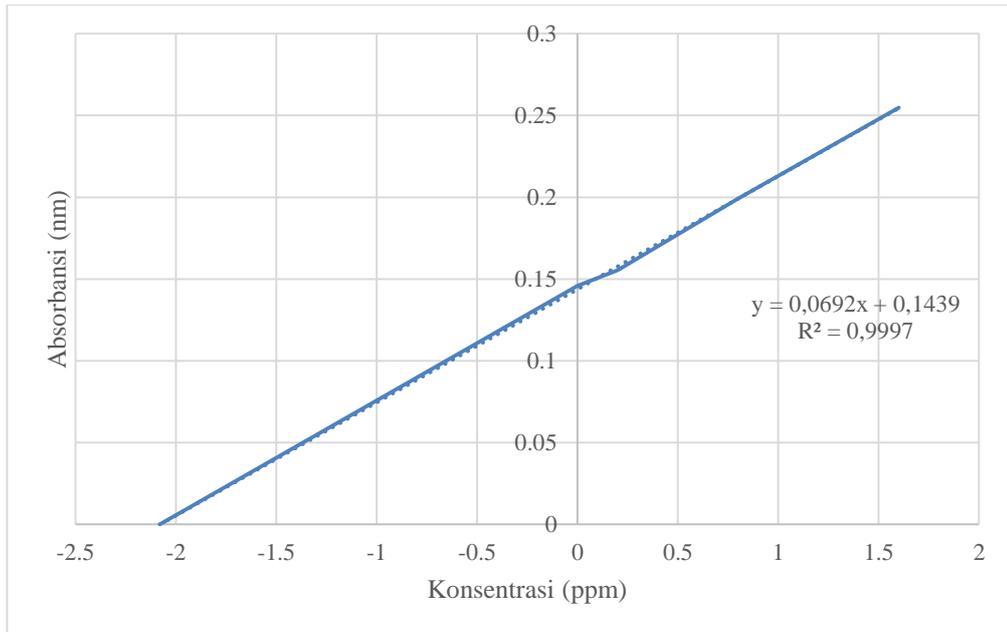
4	0,0	0,095767	0,0	0,074274	0,0	0,059209
	0,1	0,099575	0,2	0,084123	0,1	0,065894
	0,2	0,108621	0,4	0,094117	0,2	0,068217
	0,4	0,125138	0,8	0,129714	0,4	0,090080
	0,8	0,15842	1,6	0,194759	0,8	0,115334
	1,6	0,221834			1,6	0,179835
5	0,0	0,072844	0,0	0,063960	0,0	0,055691
	0,1	0,077636	0,1	0,068767	0,1	0,062363
	0,2	0,084140	0,2	0,071334	0,2	0,070814
	0,4	0,094607	0,4	0,092342	0,4	0,083154
	0,8	0,128198	0,8	0,12245	0,8	0,112322
	1,6	0,183776	1,6	0,176993	1,6	0,178478
6	0,0	0,071929	0,0	0,063420	0,0	0,060140
	0,1	0,078025	0,1	0,069777	0,1	0,064356
	0,2	0,082268	0,2	0,076211	0,2	0,072849
	0,4	0,106794	0,4	0,084027	0,4	0,089486
	0,8	0,128004	0,8	0,118538	0,8	0,115080
	1,6	0,190125	1,6	0,174001	1,6	0,178014
7	0,0	0,074123	0,0	0,064971	0,0	0,058256
	0,1	0,080603	0,1	0,074279	0,1	0,068794
	0,2	0,082044	0,2	0,080427	0,2	0,074424
	0,4	0,101769	0,4	0,092712	0,4	0,092738
	0,8	0,124931	0,8	0,125215	0,8	0,123241
	1,6	0,188476	1,6	0,181719	1,6	0,201498
8	0,0	0,104798	0,0	0,069817	0,0	0,057003
	0,1	0,100952	0,1	0,101693	0,1	0,064939
	0,2	0,105232	0,2	0,076911	0,2	0,069954
	0,4	0,125850	0,4	0,092432	0,4	0,085533
	1,6	0,199931	0,8	0,124148	0,8	0,112144
			1,6	0,183861	1,6	0,168152
9	0,0	0,060446	0,0	0,059455	0,0	0,055394
	0,1	0,063638	0,1	0,065309	0,1	0,058713
	0,2	0,065446	0,2	0,068903	0,2	0,060978
	0,4	0,075994	0,4	0,085971	0,4	0,079829
	0,8	0,089245	0,8	0,108726	0,8	0,102205
	1,6	0,129002	1,6	0,148346	1,6	0,164267
10	0,0	0,069278	0,0	0,061474	0,0	0,055078
	0,1	0,078297	0,1	0,062899	0,1	0,059936
	0,2	0,079256	0,2	0,070408	0,2	0,065849
	0,4	0,089012	0,4	0,085192	0,4	0,080853
	0,8	0,114969	0,8	0,107874	0,8	0,104895
	1,6	0,158163	1,6	0,159789	1,6	0,155867

11	0,0	0,069128	0,0	0,063728	0,0	0,052836
	0,1	0,077256	0,1	0,069700	0,1	0,069458
	0,2	0,081615	0,2	0,073253	0,2	0,075535
	0,4	0,093562	0,4	0,082933	0,4	0,082158
	0,8	0,107749	0,8	0,109393	0,8	0,116214
	1,6	0,153465	1,6	0,158243	1,6	0,176285
12	0,0	0,057553	0,0	0,084723	0,0	0,052836
	0,1	0,059073	0,1	0,088583	0,1	0,069458
	0,2	0,062555	0,2	0,096091	0,2	0,075535
	0,4	0,068488	0,4	0,111391	0,4	0,082158
	0,8	0,083076	0,8	0,142041	0,8	0,116214
	1,6	0,113498	1,6	0,203918	1,6	0,176285
13	0,0	0,055482	0,0	0,076109	0,0	0,073499
	0,1	0,061438	0,1	0,084616	0,1	0,080318
	0,2	0,064354	0,2	0,093848	0,2	0,088144
	0,4	0,069306	0,4	0,103090	0,4	0,094744
	0,8	0,093225	0,8	0,137096	0,8	0,134619
	1,6	0,119665	1,6	0,187726	1,6	0,188778
14	0,0	0,092325	0,0	0,078143	0,0	0,075362
	0,1	0,098762	0,1	0,088223	0,1	0,084301
	0,2	0,104217	0,2	0,091815	0,2	0,091509
	0,4	0,116726	0,4	0,10402	0,4	0,110851
	0,8	0,140237	0,8	0,138704	0,8	0,140431
	1,6	0,195105	1,6	0,191653	1,6	0,195661
15	0,0	0,099950	0,0	0,082916	0,0	0,074945
	0,1	0,106821	0,1	0,093035	0,1	0,075526
	0,2	0,106426	0,2	0,100786	0,2	0,087703
	0,4	0,121237	0,4	0,104369	0,4	0,092637
	0,8	0,164162	0,8	0,138602	0,8	0,126284
	1,6	0,205070	1,6	0,195086	1,6	0,185055
16	0,0	0,077816	0,0	0,074187	0,0	0,069233
	0,1	0,085840	0,1	0,073457	0,1	0,071913
	0,2	0,095290	0,2	0,082999	0,2	0,078569
	0,4	0,110011	0,4	0,094450	0,4	0,093921
	0,8	0,130243	0,8	0,123719	0,8	0,127570
	1,6	0,184514	1,6	0,175500	1,6	0,178458

**Lampiran 6. Perhitungan, Konsentrasi Awal (C_o)Konsentrasi Filtrat (C_f),
Konsentrasi Sampel (C_s) dan Efisiensi Penjerapan (E_p).**

1. Perhitungan Konsentrasi Awal Sampel (C_o)

A. Untuk 2 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,0692x + 0,1439$$

$$x = \frac{0 - 0,1439}{0,0692}$$

$$= 2,08 \text{ ppm}$$

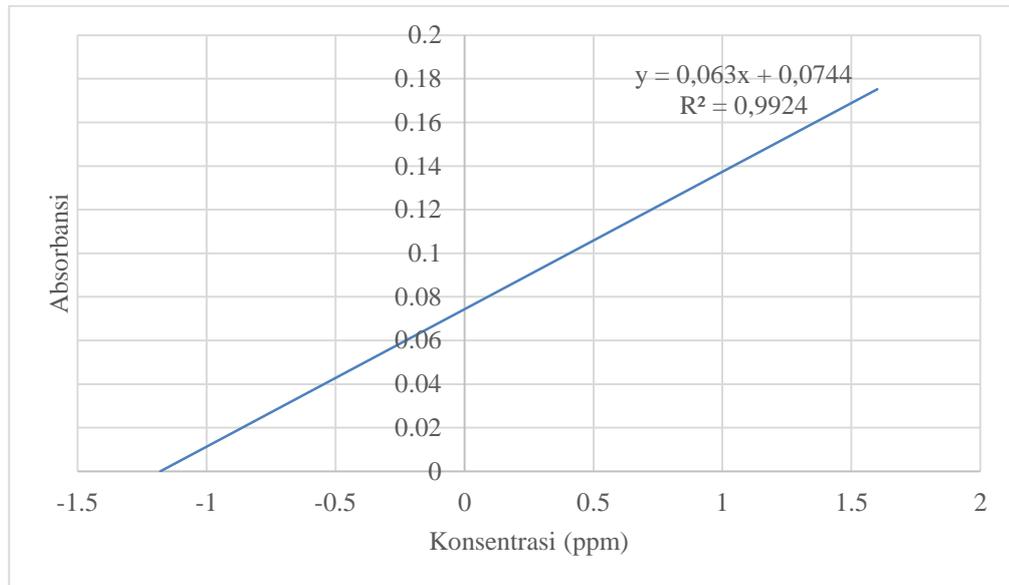
$$x = C_s = 2,08 \text{ ppm}$$

$$C_o = \frac{C_s \times \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{2,08 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 5,2 \text{ ppm}$$

B. Untuk 4 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,063x + 0,0744$$

$$x = \frac{0 - 0,0744}{0,063}$$

$$= - 1,18 \text{ ppm}$$

$$x = 1,18 \text{ ppm}$$

$$C_s = x \cdot F_p$$

$$= 1,18 \text{ ppm} \times \frac{25}{10}$$

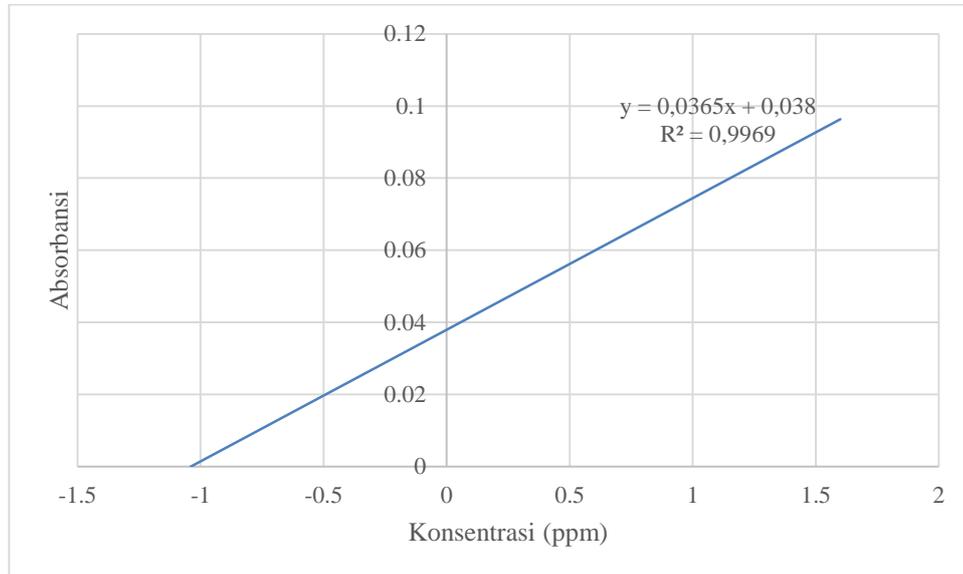
$$= 2,95 \text{ ppm}$$

$$C_o = \frac{C_s \times \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{2,95 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 7,35 \text{ ppm}$$

C. Untuk 8 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,0365x + 0,038$$

$$x = \frac{0 - 0,038}{0,0365}$$

$$= - 1,04 \text{ ppm}$$

$$x = 1,04 \text{ ppm}$$

$$C_s = x \cdot F_p$$

$$= 1,04 \text{ ppm} \times \frac{25}{5}$$

$$= 5,2 \text{ ppm}$$

$$C_o = \frac{C_s \times \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

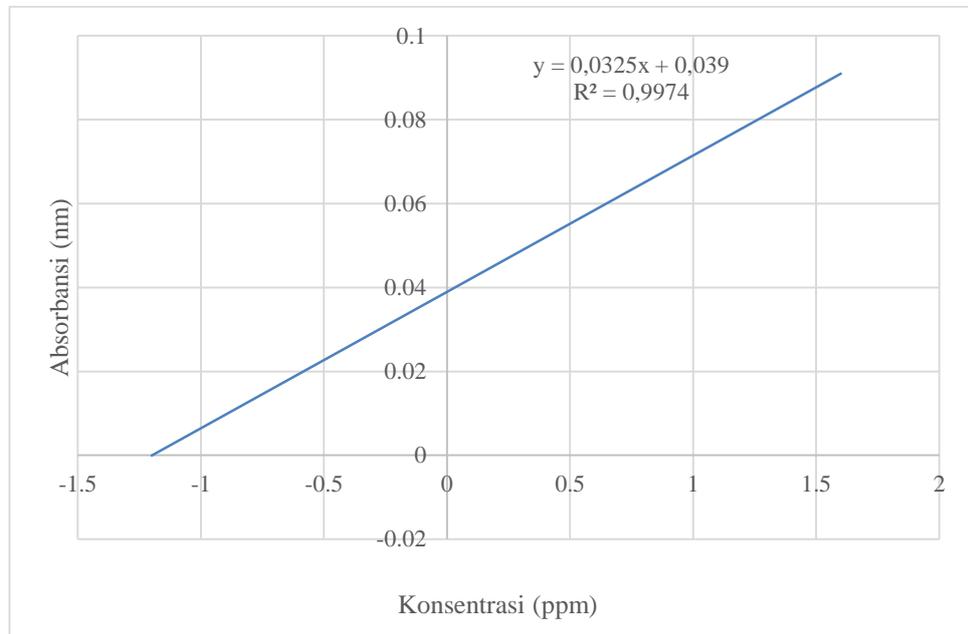
$$= \frac{5,2 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 13 \text{ ppm}$$

2. Perhitungan Efisiensi Penjeratan (Ep)

A. Hari Pertama

A.1. Untuk 2 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,0325x + 0,039$$

$$x = \frac{0 - 0,039}{0,0325}$$

$$= -1,2 \text{ ppm}$$

$$x = 1,2 \text{ ppm}$$

$$C_f = \frac{x \cdot \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{1,2 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 3 \text{ ppm}$$

$$C_s = C_o - C_f$$

$$= 5,2 \text{ ppm} - 3 \text{ ppm}$$

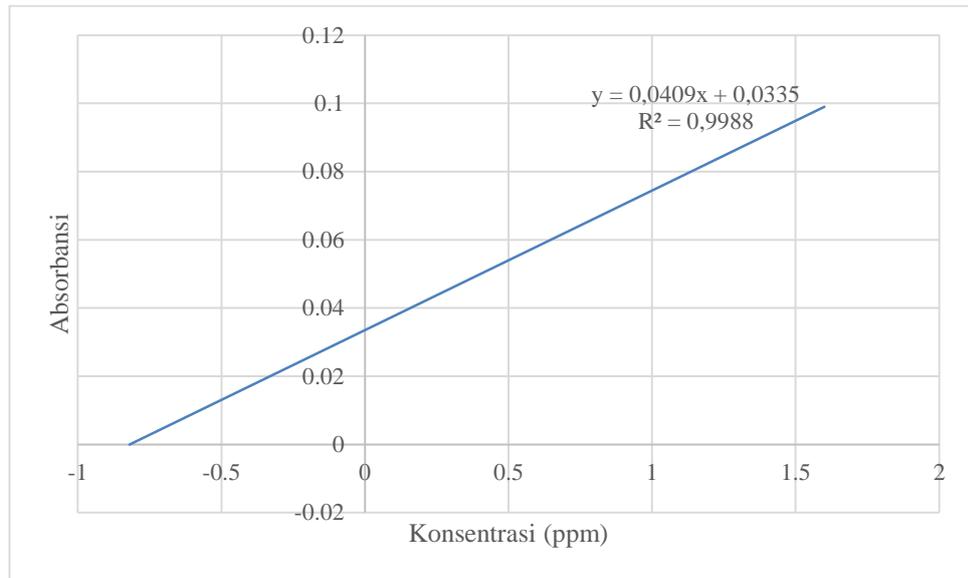
$$= 2,2 \text{ ppm}$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{2,2 \text{ ppm}}{5,2 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$= 42,31 \%$$

A.2. Untuk 4 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,0335x + 0,0409$$

$$x = \frac{0 - 0,0409}{0,0335}$$

$$= -0,82 \text{ ppm}$$

$$x = -0,82 \text{ ppm}$$

$$x = 0,82 \text{ ppm} \times fp$$

$$= 0,82 \text{ ppm} \times \frac{25}{10}$$

$$= 2,05 \text{ ppm}$$

$$C_f = \frac{x \cdot \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{2,05 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 5,13 \text{ ppm}$$

$$C_s = C_o - C_f$$

$$= 7,35 \text{ ppm} - 5,13 \text{ ppm}$$

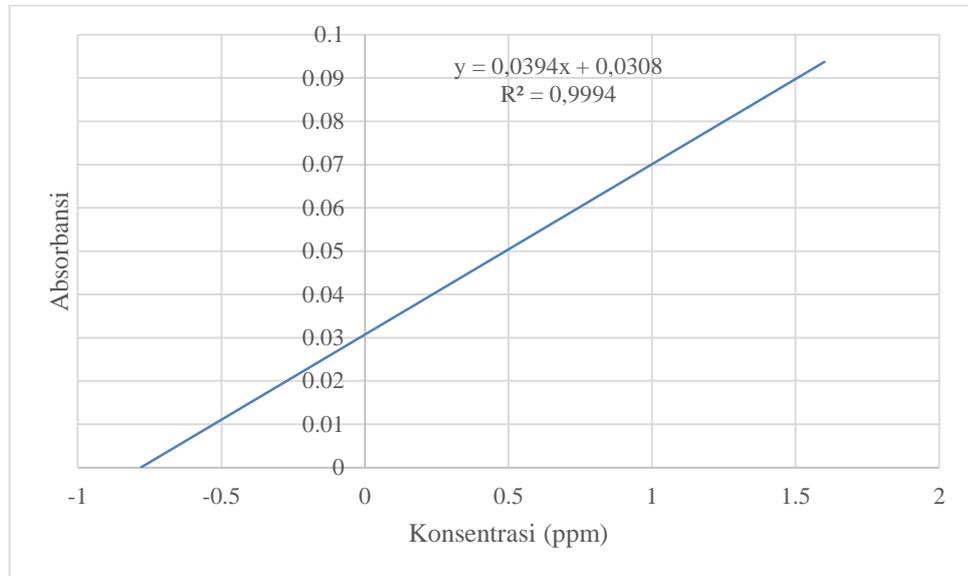
$$= 2,22 \text{ ppm}$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{2,22 \text{ ppm}}{7,35 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$= 30,20 \%$$

A.3. Untuk 8 ppm



Persamaan Regresi

$$y = 0,0394x + 0,0308$$

$$x = \frac{0 - 0,0308}{0,0394}$$

$$= -0,78 \text{ ppm}$$

$$x = -0,78 \text{ ppm}$$

$$x = 0,78 \text{ ppm} \times fp$$

$$= 0,78 \text{ ppm} \times \frac{25}{5}$$

$$= 3,9 \text{ ppm}$$

$$C_f = \frac{x \cdot \text{Volume Total}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{3,9 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}}{2 \text{ mL}}$$

$$= 9,75 \text{ ppm}$$

$$C_s = C_o - C_f$$

$$= 13 \text{ ppm} - 9,75 \text{ ppm}$$

$$= 3,25 \text{ ppm}$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,25 \text{ ppm}}{13 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$= 25 \%$$

Lampiran 7. Tabel Data Hasil Perhitungan Cf, Cs Dan Ep Medium yang Terpapar Ion Mn²⁺

Hari	Cf			Cs			Ep		
	2 ppm	4 ppm	8 ppm	2 ppm	4 ppm	8 ppm	2 ppm	4 ppm	8 ppm
1	3,00	5,13	9,75	2,20	2,22	3,25	42,31	30,20	25,00
2	2,80	5,20	9,08	2,40	2,15	3,92	46,15	29,25	30,15
3	2,35	5,85	8,40	2,85	1,50	4,60	54,81	20,41	35,38
4	2,90	5,58	9,43	2,30	1,77	3,57	44,23	24,08	27,46
5	2,50	5,33	8,88	2,70	2,02	4,12	51,92	27,48	31,69
6	2,40	5,53	9,85	2,80	1,82	3,15	53,85	24,76	24,23
7	2,50	5,65	8,10	2,70	1,70	4,90	51,92	23,13	37,69
8	3,88	6,88	10,33	1,32	0,47	2,67	25,38	6,39	20,54
9	3,40	6,70	9,23	1,80	0,65	3,77	34,62	8,84	29,00
10	3,15	5,88	10,70	2,05	1,47	2,30	39,42	20,00	17,69
11	3,48	6,00	9,63	1,72	1,35	3,37	33,08	18,37	25,92
12	3,90	6,75	9,55	1,30	0,60	3,45	25,00	8,16	26,54
13	3,48	6,98	12,35	1,72	0,37	0,65	33,08	5,03	5,00
14	3,58	6,93	12,50	1,62	0,42	0,50	31,15	5,71	3,85
15	3,58	7,55	12,53	1,62	-0,20	0,47	31,15	-2,72	3,62
16	3,08	6,65	14,33	2,12	0,70	-1,33	40,77	9,52	-10,23

Keterangan:

C₀ = Konsentrasi awal dalam medium pertumbuhan

C_s = Konsentrasi yang diserap

C_f = Konsentrasi di dalam filtrat

E_p = Efisiensi penjerapan

Catatan : Pada konsentrasi 4 ppm digunakan pengenceran 2,5x dan untuk 8 ppm digunakan pengenceran 5x

Lampiran 8. Hasil Uji Klorofil

Jenis sampel : Air
Kode sampel : Kontrol; Mn²⁺ 2ppm; Mn²⁺ 4ppm dan Mn²⁺ 8 ppm
Tanggal penerimaan : 19 Oktober 2017
Tanggal Pengujian : 27 Oktober 2017
Tempat pengujian : Laboratorium Air BPPAP Maros
Hasil mengujian :

Sampel	Konsentrasi klorofil a (mg/m ³)	Selisih dengan Kontrol (%)
Kontrol	339,88	0
Mn ²⁺ 2 ppm	478,81	29,02
Mn ²⁺ 4 ppm	368,82	7,85
Mn ²⁺ 8 ppm	346,69	1,96

Selisih konsentrasi klorofil a, dihitung menggunakan persamaan (8),

$$y = \frac{e-f}{e} \times 100 \% \quad (8)$$

y = selisih konsentrasi klorofil a antara sampel dengan control (%)

e = konsentrasi klorofil a pada sampel yang dipapar Mn²⁺

f = konsentrasi klorofil a pada kontrol

LAMPIRAN 9. Foto Penelitian



A. Peremajaan mikroalga *N. salina*



B. Kultivasi *N. salina* Hari ke-0



C. Kultivasi *N. salina* Hari ke-13



D. Sample untuk analisis klorofil