



POTENSI PRODUKSI BIOFUEL DARI BIOMASSA FITOPLANKTON LAUT SPESIES *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* DAN *Spirulina sp.*, YANG DITUMBUHKAN DALAM NUTRIEN UNGGUL "MSSIP" TERINDUKSI ION LOGAM Fe, Co, DAN Ni

[Biofuel Production Potency of Sea Phytoplankton Biomass, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, and *Spirulina sp.* Cultured in Fe, Co, Ni Ion Metals Induced-Superior MSSIP Nutrient]

Syahrudin Kasim^{1*}, Paulina Taba¹, Indah Raya¹, Ruslan²

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10 Tamalanrea, Makassar, 90245

²Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta, Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Telp. 0451- 422611

Diterima 30 Maret 2017, Disetujui 19 April 2017

ABSTRACT

Research about composition of superior nutrients, growth parameters, and best method to maximize production of biomass sea phytoplankton, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, and *Spirulina sp.* has been performed. The nutrients was named as MSSIP which were consist of following compositions: urea fertilizer, Arschat-M nutrient, Fe:Co:Ni metal ions (6 : 3 : 9 : 6 : 3). Methods used were identification and analysis of sea phytoplankton. Determination of optimum growth condition, pure culture, and mass culture were using local raw materials-based engineered nutrients or MSSIP (M. Sjahrul-Syahrudin Kasim-Indah Raya-Paulina Taba). Determination of product density of sea phytoplankton biomass, analyses of carbohydrate content, and lipid biomass were done by using haemocytometer and microscope, Luff Schrol method, and soxhlet method (n-hexane as solvent), respectively. Morphology of phytoplankton was identified by using a digital camera microscope, SZ60/sZ60-61. Furthermore, to understand the effect of metal ions, Fe, Co, and Ni added into MSSIP nutrient, identification of nutrient before and after culturing process were done using XRF-Thermo-Fisher. The results showed that *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, and *Spirulina sp.* were suitable as raw materials to produce biofuel. Those three phytoplankton contained 0,3095 g/L, 0,3782 g/L, and 0,3325 g/L biomass, 32,49%w/w, 31,58%w/w, and 29,81%w/w carbohydrates; and 25,95%w/w, 26,82%w/w and 24,53%w/w lipid, respectively. Best optimum condition of culture were salinity of 30-35‰, temperature of 20-30 °C, pH of 8-9, initial density of 2.5 x 10⁴ cell/mL, light exposure of 40 watt, and continuously aerated with CO₂. Based on our study, sea phytoplankton, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, and *Spirulina sp.* have a high potency as source of bioethanol and biodiesel.

Keywords: mass culture, superior nutrient MSSIP, sea phytoplankton biomass, Fe, Co, Ni metal ions

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang komposisi nutrisi unggul, parameter pertumbuhan dan metode terbaik untuk memaksimalkan produksi biomassa fitoplankton laut uji spesies *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, dan *Spirulina sp.* Nutrien tersebut diberikan nama nutrisi MSSIP dengan komposisi sebagai berikut yaitu: pupuk urea : nutrisi Arschat-M : ion logam Fe: Co : Ni = 6 : 3 : 9 : 6 : 3. Metode yang digunakan: Identifikasi dan analisis fitoplankton laut. Penentuan kondisi pertumbuhan optimum, kultur murni dan kultur massal menggunakan nutrisi hasil rekayasa berbasis bahan baku lokal yang disingkat "MSSIP" (M. Sjahrul-Syahrudin Kasim-Indah Raya-Paulina Taba). Penentuan kepadatan produk biomassa fitoplankton laut yang dihasilkan menggunakan haemocytometer dan mikroskop Nikon, analisis kandungan karbohidrat dengan metode Luff Schrol dan lemak biomassa dengan pelarut n-heksana metode Soxhlet (SNI 2453-90), selanjutnya identifikasi dilakukan dengan Mikroskop Digital Camera SZ60/SZ60-61 terhadap fitoplankton untuk melihat penampang morfologinya, dan

terakhir identifikasi dengan XRF-Thermo-Fisher terhadap nutrien sebelum dan setelah kultur untuk melihat pengaruh ion logam Fe, Co dan Ni yang ditambahkan dalam nutrien MSSIP yang digunakan. Hasil penelitian, fitoplankton laut spesies *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* dan *Spirulina sp.*, sangat baik digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biofuel oleh karena memiliki kandungan biomassa: 0,3095 g/L, 0,3782 g/L dan 0,3325 g/L, karbohidrat: 32,49%b/b, 31,58%b/b dan 29,81%b/b dan lemak: 25,95%b/b, 26,82%b/b dan 24,53%b/b. Berdasarkan kandungan tersebut, maka *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, dan *Spirulina sp.* berpotensi sebagai penghasil biofuel jenis bioetanol dan biodiesel. Kondisi optimum kultur yang terbaik adalah: salinitas 30 – 35 ‰, suhu 20 – 30 °C, pH 8 – 9, kepadatan awal $2,5 \times 10^4$ sel/mL, penyinaran dengan lampu neon 40 watt dan laju aerasi CO₂ kontinyu.

Kata kunci: Kultur massal, nutrien unggul MSSIP, biomassa fitoplankton laut, ion logam Fe, Co, dan Ni.

*)Corresponding author: kasimsyahrudin@yahoo.co.id

LATAR BELAKANG

Fitoplankton laut saat ini menjadi fenomena yang penting untuk dikaji lebih mendalam. Hal ini oleh karena fitoplankton memiliki kemampuan untuk mensintesis sendiri bahan organiknya melalui proses fotosintesis, menyebabkan fitoplankton menjadi sumber utama pada rantai makanan di ekosistem air laut dan air tawar (Bu-Olayanet *al.*, 2011). Selain itu, fitoplankton laut merupakan salah satu alternatif sebagai sumber bahan baku untuk pembuatan Bahan Bakar Nabati dalam bentuk biofuel karena memiliki kandungan karbohidrat dan lemak yang cukup tinggi (Hedges *et al.*, 2002; Kasim dkk., 2012).

Wilayah Indonesia memiliki dua pertiga daerah berupa lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu \pm 80.791,42 Km, memiliki kandungan fitoplankton yang melimpah, sekitar 35.000 spesies telah diidentifikasi. Kandungan Karbohidrat Fitoplankton laut *Chlorella sp.* 18,4 – 54,5 % dan *Chlorella vulgaris* 10,3 – 44 % (Guerrero, 2010). *Dunaliella salina* 32% (Becker, E.W., 1994). *Chlorella sp.* 18,4 – 54,5% dan *Tetraselmis suecia* 11 – 47 % (Ragauskas, 2006). *Chlorella sp.*, *Dunaliella sp.*, *Tetraselmis chuii*, *Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros gracilis*, *Isocrysis aff galbana*, memiliki kandungan kardohidrat sekitar 29-31% (Kasim dkk, 2012).

Kandungan lemak fitoplankton *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*,

euglena gracilis, *Nitzschia palea* sekitar 9 – 20 % (Hadiyanto dkk, 2010). *Spirulina* 11,2 – 20,8 %, *Nannochloropsis* 20,8 – 35,5 % dan *Botryococcus* 70% (Chisti, , 2007). *Chaetoceros calcitrans* 39,8 % (Rodolfi *et al.*, 2008). *Tetraselmis sp.* 14,7 %, *Isochrysis sp.* 27,4 % dan *skeletonema costatum* 21% (Khanet *al.*, 2009). Berdasarkan informasi ini, sehingga fitoplankton potensil untuk diolah menjadi bioetanol dan biodisel, walaupun kandungan ini masih dapat berbeda apabila kondisi lingkungan tumbuhnya juga berbeda.

Potensi fitoplankton sebagai sumber biofuel sangat menjanjikan dan Indonesia melalui Pemerintah sangat serius untuk itu. Tahun 2025 berdasarkan cetak biru pengelolaan energi Nasional di Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, biofuel ditargetkan mengganti 5% konsumsi bahan bakar konvensional. Selain itu, pada jangka panjang akan terjadi kompetisi hebat dalam pemanfaatan lahan untuk produksi biofuel dengan pangan dan pakan sehingga fitoplankton sangat potensil (Arifin, 2010).

Memfaatkan fitoplankton untuk bahan baku bioetanol dan biodisel sangat ramah lingkungan, karena tidak menyebabkan polusi dan relatif mudah pengerjaannya serta memiliki produktifitas sebagai sumber nabati mencapai 200 kali dibanding sumber nabati yang lain (Chisti, 2007). Keuntungan lain dari fitoplankton, yaitu memiliki kemampuan menyerap gas

karbondioksida (CO₂) dan mengkonversikannya menjadi oksigen. Sebanyak 90% dari bobot kering fitoplankton menyerap CO₂ sehingga mampu mengurangi gas tersebut sampai 1.000 ton/ha/tahun (Wu *et al.*, 2010).

Pertumbuhan fitoplankton memiliki siklus hidup yang pendek sehingga memiliki respon yang cepat terhadap perubahan lingkungan dan biomasanya dapat menjadi sangat banyak dalam waktu yang singkat apabila distimulasi dengan suatu komposisi nutrisi yang dibutuhkan (Nontji, 2008). Parameter yang berpengaruh terhadap akumulasi jumlah biomassa fitoplankton dalam kultur adalah komposisi nutrisi, tekanan osmosis, suhu, pH, pencahayaan, laju alir gas CO₂ dan salinitas (Sharma *et al.*, 2012).

Terdapat delapan komponen besar faktor media yang mempengaruhi produktivitas sel biomassa spesies fitoplankton, antara lain suhu, intensitas cahaya, ukuran dan jumlah inokulum, muatan padatan terlarut, salinitas, ketersediaan makronutrien dan mikronutrien (C, N, P, K, S, Mg, Na, Cl, Ca, dan Fe, Zn, Cu, Ni, Co, dan W) (Sanchez *et al.*, 2008). Logam-logam ini dalam nutrisi pembiakan, menunjang pertumbuhan fitoplankton sebab berperan menstimulasi terjadinya peningkatan jumlah biomassa sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan (Sanusi, , 2006). Selain itu pertumbuhan sel fitoplankton dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti komposisi nutrisi dalam media dan

temperatur (16 – 38 °C) (Sanchez *et al.*, 2008; Goksan *et al.*, 2007).

Berdasarkan hasil orientasi itulah, dicoba melakukan kajian lebih mendalam mengenai beberapa spesies fitoplankton laut. Terutama melihat pola interaksinya dalam nutrisi MSSIP yang diinduksi dengan ion logam Fe, Co dan Ni. Ketiga logam tersebut termasuk dalam satu golongan VIII B, namun memiliki pola interaksi dan fungsi yang berbeda-beda satu sama lain (Sjahrul, 2010).

Logam besi (Fe) berperan aktif dalam reaksi enzimatik proses fotosintesis dan dalam bentuk ferri-doksin, juga ditemukan bahwa Fe bersama Nikel (Ni) berperan aktif dalam proses asimilasi dengan senyawa lain (Cermeno *et al.*, 2010). Logam kobalt (Co) merupakan komponen utama vitamin B12 dan berperan penting dalam proses metabolisme dan pertumbuhan sel fitoplankton (Coleman *et al.*, 2008). Pada jaringan tubuh fitoplankton, kelarutan kedua logam berdasarkan reaktivitasnya adalah Fe > Co (Sanusi, 2006).

Berdasarkan latar belakang masalah ini terdorong untuk dilakukan penelitian tentang potensi produksi biofuel dari spesies fitoplankton laut *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* dan *Spirulina sp.*, yang ditumbuhkan dalam nutrisi unggul MSSIP terinduksi ion logam Fe, Co dan Ni. Penggunaan tiga jenis ion logam ini diharapkan akan diperoleh pemetaan yang lebih detail tentang interaksi logam tersebut terhadap spesies fitoplankton laut

uji yang dipakai dalam penelitian ini oleh karena ketiga ion logam tersebut berada pada golongan yang sama dalam tabel periodik unsur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang beberapa tahapan mulai penentuan lokasi pengambilan sampel spesies fitoplankton laut, kemudian kultur untuk mendapatkan biomassa, kandungan karbohidrat dan lemak yang tertinggi. Prosedur penelitian terdiri atas beberapa tahapan, yaitu:

Uji Parameter Fisika-Kimia Perairan

Untuk mengetahui kondisi pertumbuhan fitoplankton yang akan digunakan, dilakukan pengukuran beberapa parameter fisika-kimia sampel air dari perairan laut yaitu: Suhu, salinitas, dan pH secara *In situ*. Data Parameter fisika-kimia di lapangan tempat pengambilan sampel air laut, dijadikan dasar untuk kultur fitoplankton laut.

Identifikasi Spesies Fitoplankton Laut Uji dan Kultur Murni

Dalam penelitian ini, sampel murni spesies fitoplankton uji yang didapatkan dari berbagai tempat, ditanam pada media agar untuk diseleksi dan diamati dengan mikroskop dan SEM untuk diambil gambarnya. Selanjutnya penyiapan media kultur yang akan digunakan, merupakan hasil modifikasi beberapa komponen media kultur menggunakan air laut buatan, dengan membuat variasi komposisi ion logam Fe, Co dan Ni, selanjutnya medium yang dihasilkan

dinamakan medium "MSSIP". Konsentrasi masing-masing Ion logam yang digunakan adalah, untuk Fe : 1, 2, dan 3 ppm, Co : 0,1; 0,2; dan 0,3 ppm, dan Ni : 0,01 ppm. Nutrien yang dihasilkan sebelum dan sesudah kultur dianalisis dengan XRF dan spektroskopi IR, hasilnya dibandingkan dengan standar dan diukur pada kondisi yang sama.

Bibit sel fitoplankton ini kemudian ditanam ke dalam medium MSSIP pada volume 50 mL, 250 mL, dan 500 mL lalu dalam botol kultur 1000 mL. Selanjutnya dilakukan kultur berdasarkan parameter fisika-kimia yang ditemukan secara insitu dengan mengatur laju alir gas CO₂ untuk memperbanyak bibit selain disimpan untuk kultur induk fitoplankton. Cara ini dilakukan berulang pada semua sampel spesies fitoplankton laut yang akan digunakan dengan membuat perlakuan dan kondisi yang sama.

Kultur Spesies Fitoplankton Laut Uji pada Tahap Germinasi

Kultur fitoplankton pada tahap germinasi, sama dengan kultur murni namun volume kultur dibuat lebih banyak yaitu dalam wadah 3 liter.

Untuk kedua botol kultur 3 liter, setiap hari selama sepuluh hari kultur, diamati dengan alat Haemositometer melalui mikroskop. Pada kultur ini akan diamati laju pertumbuhan spesifiknya dengan menggunakan rumus:

$$\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

Keterangan:

t = Waktu (jam).

N_t = Kepadatan populasi sel pada saat t (sel/mL)

N_0 = Kepadatan populasi sel pada saat awal (sel/mL)

μ = Tetapan laju pertumbuhan spesifik (jam⁻¹)

Kultur Massal Spesies Fitoplankton Laut Uji

Berdasarkan pada parameter fisika-kimia kondisipertumbuhanfitoplankton di lapangan yang diukur secara insitu, spesies fitoplankton laut terpilih kemudian dikultur secara massal dalam aquarium bervolume 60 liter, dengan mengatur laju alir gas CO₂. Setelah kepadatan fitoplankton optimal, selanjutnya 1 liter dari kultur massal diambil, disaring dan dikeringkan untuk ditentukan berat biomasanya dengan menggunakan metode gravimetri melalui penimbangan dengan kertas saring yang sesuai. Selanjutnya dilakukan pemanenan dengan

cara cahaya dan aerasi dihentikan sekitar 3 hari agar terjadi pemisahan antara air dan fitoplankton karena terjadi pengendapan.

Analisis Karbohidrat, Lemak dan biomassa Fitoplankton Laut

Analisis biomassa dilakukan secara gravimetri, analisis kandungan karbohidrat dalam biomassa fitoplankton laut dilakukan dengan menggunakan metode penentuan gula reduksi dengan cara Luff Schoorl. Komposisi lemak yang terdapat dalam biomassa spesies fitoplankton laut uji terpilih dilakukan dengan pelarut n-heksana metode Soxhlet (SNI 2453-90).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Fisika-Kimia Perairan

Parameter fisika-kimia perairan untuk pertumbuhan spesies fitoplankton laut yang ditemukan, hasilnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Fisika-Kimia Pertumbuhan Fitoplankton Laut.

Jenis Fitoplankton	Parameter Fisika-Kimia Kultur Pertumbuhan Fitoplankton Laut					
	Salinitas (%o)	pH	Suhu(°C)	Lampu Penerangan	Aerasi (Kontinyu)	Kepadatan awal sel/mL
<i>Dunaliella salina</i>	35	8,7	20-30	Neon 40 watt	Udara blower	25.000
<i>Chlorella vulgaris</i>	30	8,5	20-30	Sda	Sda	25.000
<i>Spirulina sp.</i>	30	8,6	20-30	Sda	Sda	25.000

Berdasarkan Tabel 1, variabel yang dibuat tetap yaitu lampu neon 40 watt untuk penyinaran, menggunakan blower sebagai sumber aerasi CO₂. Variabel yang bervariasi adalah: Kepadatan awal 25.000 sel/mL, pH yang digunakan berada pada kisaran 8 – 9, salinitas adalah 30%-35% dan suhu berada pada rentang sekitar 20 – 30 °C. Berdasarkan kondisi

sifat fisika-kimia yang dihasilkan ini menunjukkan bahwa fitoplankton laut sangat selektif dalam proses pertumbuhannya oleh karena membutuhkan penyinaran dan aerasi yang cukup dan secara terus menerus, pH pertumbuhan yang baik cenderung basa serta kepadatan awal, suhu dan salinitas





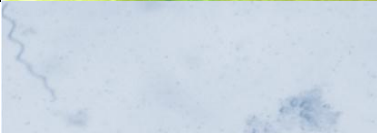

yang sesuai, agar dapat membentuk biomassa dengan cepat dan lebih banyak.

Hasil Identifikasi Spesies Fitoplankton Laut Uji dan Nutrien Kultur

Sampel spesies fitoplankton laut uji hasil seleksi, selanjutnya dianalisis dengan foto mikroskop digital kamera SZ60/SZ60-61, data ini dibandingkan dengan foto fitoplankton laut standar, hasil foto mikroskop yang diperoleh dan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan data hasil foto mikroskop fitoplankton laut spesies yang diuji dalam penelitian ini, memiliki kesesuaian yang signifikan sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Olehnya itu dilakukan kultur lebih lanjut untuk melihat potensi kandungan karbohidrat dan lemak dalam biomassa yang dihasilkan yang menjadi dasar untuk diolah lebih lanjut menjadi biofuel jenis bioetanol dan biodiesel.

Tabel 2. Hasil Foto Mikroskop Digital Kamera Spesies Fitoplankton Laut.

No.	Fitoplankton	Foto 1 (Hasil Kultur)	Foto 2 (Standar)
1	<i>Dunaliella salina</i>		
2	<i>Chlorella vulgaris</i>		
3	<i>Spirulina sp.</i>		

Peremajaan kultur murni fitoplankton laut uji dilakukan berdasarkan parameter fisika-kimia yang ditemukan dengan nutrien yang terbaik untuk memperbanyak bibit dan memaksimalkan laju kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton laut tersebut, selain disimpan untuk kultur induk fitoplankton. Cara ini dilakukan pada semua sampel fitoplankton laut yang digunakan dengan membuat perlakuan yang sama, serta didukung oleh data kepadatan jenis pertumbuhannya.

Kepadatan Jenis Sel Fitoplankton Laut Pada Kultur Murni

Hasil penentuan kepadatan jenis sel spesies fitoplankton laut uji pada kultur murni, diukur dengan *Haemocytometer* dan dianalisis pada mikroskop Nikon, diperoleh informasi tentang potensi kepadatan sel fitoplankton laut yang bersangkutan sebagai sumber biomassa yang potensial kandungan karbohidrat dan lemaknya.

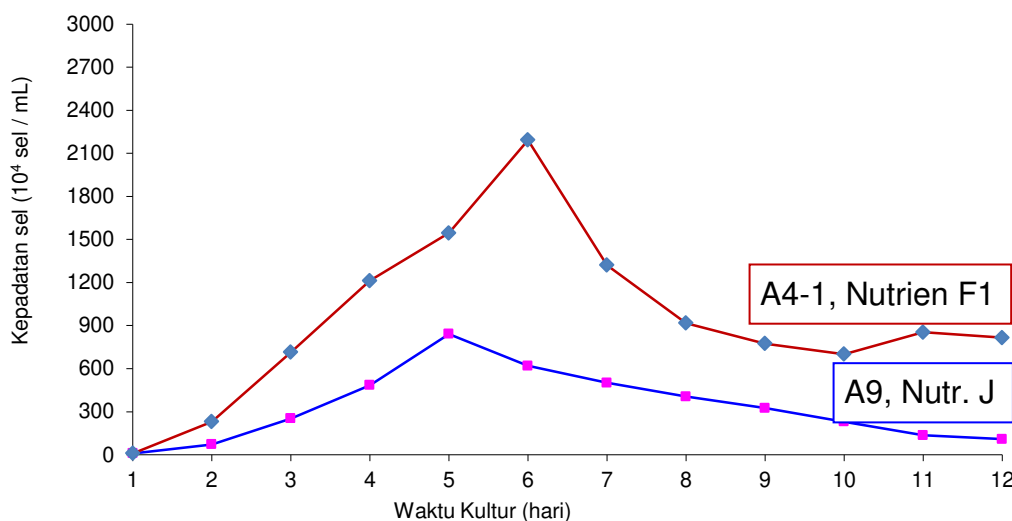
Hasil pengukuran kepadatan jenis pertumbuhan sel spesies fitoplankton laut yang dianalisis, diperlihatkan pada

Gambar 1 – 3 dan data kepadatan pertumbuhan fitoplankton laut disajikan pada Tabel 3 – 5. Untuk fitoplankton laut spesies *D. salina*, data kepadatan jenis

pertumbuhan sel dalam nutrisi MSSIP yang digunakan, disajikan pada Tabel 3 dan dalam bentuk grafik disajikan pada Gambar 1.

Tabel 3. Kepadatan Jenis Fitoplankton Laut Spesies *D. salina*.

Nutrien dan Sampel	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A dan A	2,5	13	35	105	398	825	953	1106	1245	1328	1201	1103
B dan KA	2,5	14	30	172	218	345	413	518	635	827	720	562
C dan A1	2,5	102	435	852	1117	1443	1563	1718	1525	1183	914	825
D dan A2	2,5	80	103	252	317	415	593	688	835	980	994	921
E dan A3	2,5	11	29	35	44	58	88	120	139	115	85	77
F dan A4	2,5	173	535	932	1125	1343	1518	1690	1425	1302	1034	821
F1 dan A4-1	10	231	714	1213	1545	2192	1321	917	775	701	854	816
F2 dan A4-2	10	214	595	931	1128	1305	1411	1698	1892	1620	1374	1052
G dan A5	2,5	123	335	652	917	1143	1213	1221	1095	1003	973	926
H dan A6	10	114	240	426	675	917	1045	1285	1609	2243	1821	1335
J dan A9	10	72	253	485	814	619	501	405	325	230	136	109



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Sel Spesies *D. salina*

Berdasarkan data pada Tabel 3 dan Gambar 1, laju tercepat kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton laut spesies *D. salina*, diperoleh dalam nutrisi J dengan komposisi nutrisi yaitu, Urea : ZA : Arschat-M : Fe : Co : Ni = 9 : 3 : 3 : 9 : 6 : 3, yang dicapai pada awal hari ke 5 kultur yaitu 814×10^4 sel/mL. Sementara laju pertumbuhan sel dengan jumlah

terbanyak terjadi dalam nutrisi F1 dengan komposisi nutrisi yaitu, Urea : Arschat-M : Fe : Co : Ni = 6 : 3 : 9 : 6 : 3, yang dicapai pada awal hari ke 6 kultur, yaitu 2192×10^4 sel/mL.

Informasi ini menunjukkan bahwa komponen pupuk urea dan pupuk ZA berpengaruh efektif mempercepat laju kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton

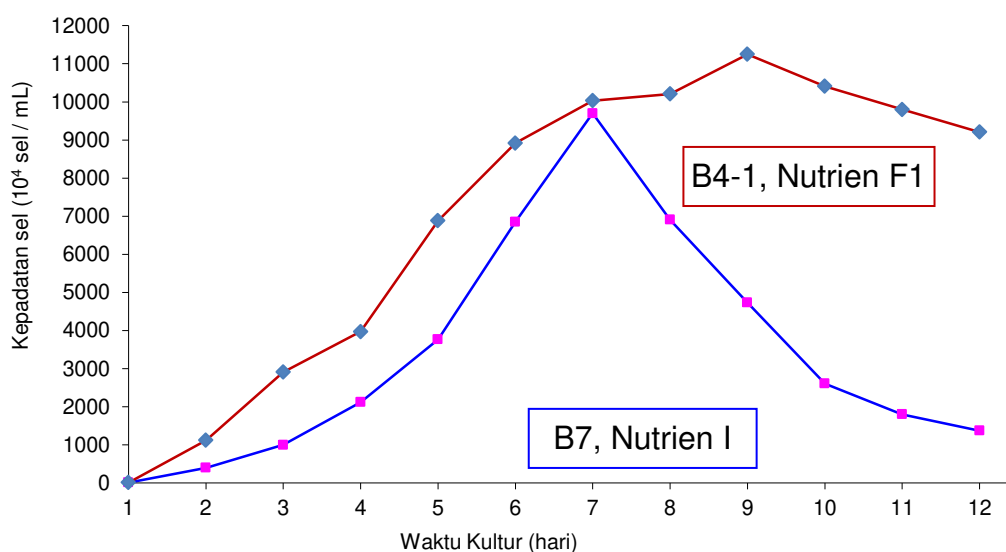
laut spesies *D. salina*, akan tetapi tidak secara linier mempengaruhi laju akumulasi pertumbuhan sel dengan jumlah terbanyak. Artinya komponen nutrisi ion logam Fe, Co dan Ni yang digunakan efektif mempercepat laju kepadatan pertumbuhan sel spesies fitoplankton laut spesies *D. salina* dalam nutrisi J dengan keterlibatan komponen pupuk urea dan pupuk ZA. Sedangkan komponen nutrisi ion logam Fe, Co dan

Ni efektif meningkatkan laju akumulasi dengan jumlah terbanyak sel fitoplankton laut spesies *D. salina* dalam nutrisi F1 dengan keterlibatan komponen nutrisi Arschat-M.

Untuk fitoplankton laut spesies *C. vulgaris*, data kepadatan jenis pertumbuhan sel dalam nutrisi MSSIP yang digunakan, disajikan pada Tabel 4 dan dalam bentuk grafik disajikan pada Gambar 2.

Tabel 4. Kepadatan Jenis Fitoplankton Laut Spesies *C. vulgaris*.

Nutrien dan Sampel	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A dan B	3,0	94	165	381	798	1047	1461	2047	2514	3170	3649	3325
C dan K1	3,0	187	502	1018	1505	2014	2362	2784	3245	2570	2127	1764
D dan B2	3,0	97	115	275	315	441	602	811	945	1025	1047	1002
E dan B3	3,0	35	69	93	212	419	638	517	374	285	194	102
F dan B4	3,0	225	890	1127	1509	1974	2562	3095	2384	1803	1327	1164
F1 dan B4-1	10	397	995	2120	3765	6854	9700	6905	4732	2606	1801	1372
F2 dan B4-2	10	385	984	1405	2951	4092	5730	7824	9290	5847	3734	2951
G dan K5	3,0	168	359	627	932	1177	1396	1537	1785	1392	1025	809
I dan B7 ($\times 10$)	1	112	291	397	688	892	1003	1021	1125	1041	980	921



Gambar 2. Grafik Pertumbuhan Sel Spesies *C. vulgaris*

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan Gambar 2, laju kepadatan pertumbuhan

sel fitoplankton laut spesies *C. vulgaris*, diperoleh laju tercepat terjadi dalam

nutrien F1 dengan komposisi nutrien yaitu, Urea : Arschat-M : Fe: Co : Ni = 6 : 3 : 9 : 6 : 3, yang terjadi pada awal hari ke 7 kultur, yaitu 9700×10^4 sel/mL. Sementara laju akumulasi pertumbuhan sel dengan jumlah terbanyak terjadi dalam nutrien I dengan komposisi nutrien yaitu, Urea : ZA : Fe: Co : Ni = 9 : 3 : 9 : 6 : 3, yang dicapai pada awal hari ke 9 kultur, yaitu sekitar 1125×10^5 sel/mL.

Informasi ini menunjukkan bahwa komponen pupuk urea dalam medium nutrien F1 dengan kehadiran komponen Arschat-M, berpengaruh efektif mempercepat laju kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton laut spesies *C. vulgaris*. Akan tetapi komponen pupuk urea dalam medium nutrien I dengan kehadiran komponen pupuk ZA, berpengaruh efektif memperbanyak akumulasi jumlah sel *C. vulgaris*. Artinya komponen nutrien ion logam Fe, Co dan Ni yang digunakan efektif mempercepat laju kepadatan pertumbuhan sel spesies fitoplankton laut spesies *C. vulgaris* dalam nutrien F1 dengan keterlibatan komponen pupuk urea dan komponen nutrien Arschat-M, Sedangkan ion logam Fe, Co dan Ni efektif meningkatkan akumulasi jumlah sel *C. vulgaris* dengan jumlah terbanyak, dalam nutrien I dengan keterlibatan komponen nutrien pupuk ZA.

Untuk fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*, data kepadatan jenis pertumbuhan sel dalam nutrien MSSIP yang digunakan, disajikan pada Tabel 5

dan dalam bentuk grafik disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan data pada Tabel 5 dan Gambar 3, laju kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*, diperoleh laju tercepat pada awal hari ke 5 kultur yaitu sekitar 5985×10^4 sel/mL yang terjadi dalam nutrien F1 dengan komposisi nutrien F1 yaitu, Urea : Arschat-M : Fe: Co : Ni = 6 : 3 : 9 : 6 : 3. Sedangkan laju pertumbuhan sel dengan akumulasi terbanyak yang ditemukan pada awal hari ke 10 kultur yaitu sekitar 1103×10^5 sel/mL, terjadi dalam nutrien H dengan komposisi nutrien yaitu, Urea : Arschat-M : Fe: Co : Ni = 9 : 3 : 9 : 6 : 3.

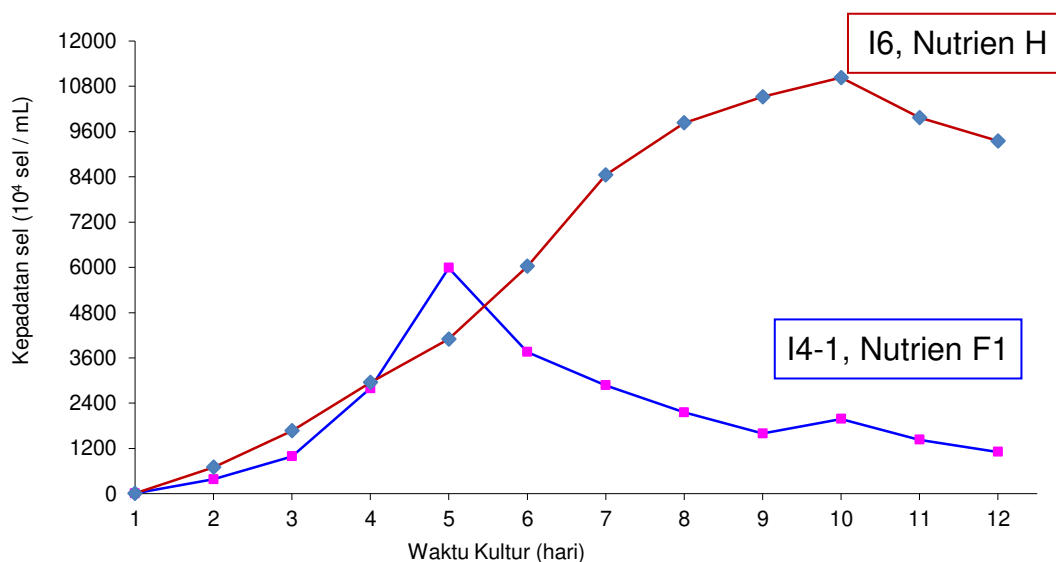
Informasi ini menunjukkan bahwa komponen ion logam Fe, Co dan Ni dengan kehadiran komponen nutrien lain yaitu pupuk urea dan Archta-M membentuk medium F1, dapat mempercepat laju kepadatan pertumbuhan sel fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.* Akan tetapi kondisi berbeda pada penambahan konsentrasi pupuk urea menjadi 1,5 kali ke dalam komponen ion logam Fe, Co, Ni dan nutrien Archta-M membentuk medium nutrien H, berpengaruh efektif mempertinggi akumulasi jumlah sel fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*, menjadi hampir dari 2 kali lipat yaitu pada awal hari ke 5 kultur 5985×10^4 sel/mL untuk nutrien F1 dan untuk nutrien H sekitar 1103×10^5 sel/mL pada awal hari ke 10 kultur. Artinya komponen nutrien ion logam Fe, Co dan Ni yang digunakan efektif meningkatkan

laju kepadatan pertumbuhan jumlah sel dan mempertinggi akumulasi jumlah sel fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*,

dengan mengatur perbandingan konsentrasi komponen nutrisi yaitu pupuk urea.

Tabel 5. Kepadatan Jenis Fitoplankton Laut Spesies *Spirulina sp.*

Nutrien dan Sampel	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A dan I	3,0	38	97	209	453	881	1305	1559	1812	2147	1970	1521
B dan OI	3,0	11	35	81	315	501	705	937	1028	1125	1109	931
C dan D1	3,0	194	725	1135	1419	1774	2142	2571	2340	1801	1604	1207
D dan D2	3,0	84	110	251	329	404	532	671	814	931	904	875
E dan K3	3,0	17	25	35	45	62	114	246	395	791	985	967
F dan I4	3,0	181	775	1085	1302	1681	1939	2390	2581	2208	1831	1591
F1 dan I4-1	10	382	991	2792	5985	3753	2871	2154	1598	1982	1431	1109
G dan D5	3,0	170	339	614	935	1226	1541	1865	1690	1302	1011	902
H dan I6 ($\times 10$)	1	70	167	295	410	603	845	983	1052	1103	997	935
I dan I7 ($\times 10$)	1	84	239	406	790	921	1045	1052	1017	1028	1002	959



Gambar 3. Grafik Kepadatan Pertumbuhan Sel Fitoplankton Laut Spesies *Spirulina sp.*

Hasil pembacaan dan analisis kondisi pada Tabel 3 – Tabel 5 dan Gambar 1 – Gambar 3, diperoleh bahwa spesies fitoplankton laut yang dianalisis memperlihatkan hasil yang potensial untuk dilakukan kultur massal agar dihasilkan jumlah biomassa yang lebih banyak. Hal lain adalah ketiga spesies fitoplankton

tersebut masing-masing memperlihatkan laju kepadatan jenis pertumbuhan tercepat dan laju akumulasi biomassa terbanyak yang memperlihatkan respon terbaik fitoplankton laut dengan nutrient MSSIP.

Secara khusus yang dikaji dalam tahap ini adalah melihat potensi ketiga ion

logam Fe, Codan Ni dan sekaligus menjawab pertanyaan tentang potensi ketiga ion logam tersebut, terutama ion logam Ni (nikel) sebagai logam berat berbahaya, namun jika ion logam ini digunakan pada konsentrasi yang sesuai akan bermanfaat khususnya untuk pertumbuhan fitoplankton laut (Nontji, 2008). Untuk jangka panjang, pengkajian tetap terus dilakukan agar ditemukan komposisi nutrisi yang lebih unggul dan lebih efisien sebagai medium pertumbuhan fitoplankton laut, dengan memperhitungkan salah satu aspek penting dalam pengembangannya yaitu nilai ekonomis pada nutrisi yang dikaji.

Potensi interaksi ketiga ion logam Fe, Co dan Ni yang digunakan sebagai komponen nutrisi, dianalisis pola perbandingannya pada ketiga fitoplankton tersebut yaitu *D. salina*, *C. vulgaris*, dan *Spirulina sp.*, menggunakan nutrisi F1 sebagai nutrisi yang memperlihatkan respon laju akumulasi dan laju kecepatan spesifik fitoplankton laut terbaik. Konsentrasi ketiga ion logam Fe, Co dan Ni yang digunakan, masing-masing adalah: 3, 2 dan 1 ppm. Komposisi nutrisi medium sebelum kultur ditentukan konsentrasinya, komposisi medium setelah kultur dianalisis dengan XRF, ketiga ion logam Fe, Codan Ni dianalisis dengan AAS, hasilnya pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Komposisi Nutrien Medium MSSIP Jenis Nutrien F1 sebelum kultur.

No.	Komponen Nutrien Medium MSSIP	Konsentrasi (ppm)
1	NaCl	300
2	MgSO ₄ .7H ₂ O	5
3	KNO ₃	2
4	KH ₂ PO ₄	5
5	CaCl ₂ .6H ₂ O	5
6	H ₃ BO ₃	200
7	ZnSO ₄ .7H ₂ O	1
8	MnSO ₄ .4H ₂ O	1
9	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.1
10	CoCl ₂ .6H ₂ O	0.2
11	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.2
12	NaFeEDTA	25
13	NaSiO ₃ .9H ₂ O	10
14	Campuran Vitamin	1
15	HCl	50
16	NaOH	75

Tabel 7. Komposisi Ion logam Fe, Co, Ni dan Komponen Nutrien MSSIP Jenis F1.

No.	Jenis Nutrien	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir	
			XRF (%b/b)	AAS (ppm)
A. Fitoplankton laut <i>D. salina</i>				
1	Cl	-	84,980	-
2	Ca	-	6,600	-
3	K	-	5,490	-
4	Fe	3	-	0,697
5	Co	2	-	0,396
6	Ni	1	-	0,241
B. Fitoplankton laut <i>C. vulgaris</i>				
1	Cl	-	59,010	-
2	Ca	-	3,190	-
3	K	-	3,800	-
4	Mg	-	31,530	-
5	Fe	3	-	0,795
6	Co	2	-	0,498
7	Ni	1	-	0,257
C. Fitoplankton laut <i>Spirulina sp.</i>				
1	Cl	-	84,860	-
2	Ca	-	6,650	-
3	K	-	5,540	-
4	Fe	3	-	0,791
5	Co	2	-	0,571
6	Ni	1	-	0,202

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, komponen yang terdeteksi oleh XRF (X Ray Fluorescence) adalah unsur Cl, K, Mg, Ca, dan beberapa unsur lainnya, sedangkan ion logam Fe, Codan Ni tidak terdeteksi. Untuk melengkapi hasil analisis ion logam Fe, Codan Ni dalam nutrisi setelah kultur, maka digunakan pengukuran dengan instrumen AAS pada sampel yang sama.

Penggunaan ion logam Fe, Co dan Ni pada keenam jenis fitoplankton laut yang potensial berdasarkan hasil yang diperoleh selama kultur berlangsung pada ketiga spesies fitoplankton laut, yaitu: *D. salina*, *C. vulgaris*, dan *Spirulina sp.*, adalah: Ion logam Fe>Co>Ni dengan rata-rata perbandingan ion logam Fe : Co : Ni = 9 : 3 : 1.

Kondisi ini menunjukkan bahwa ion logam Fe, Co dan Ni dibutuhkan dalam jumlah yang sesuai dengan jenis fitoplankton laut yang digunakan. Untuk menentukan komposisi perbandingan

terbaik ion logam Fe, Co dan Ni dalam nutrisi, dilakukan analisis pola kepadatan jenis pertumbuhan fitoplankton laut pada beberapa macam nutrisi medium MSSIP yang digunakan.

Interaksi Ion Logam Fe, Co dan Ni dalam Nutrien MSSIP Pada Kultur Sel Fitoplankton Laut

Interaksi ketiga ion logam Fe, Co dan Ni tersebut pada komposisi nutrisi MSSIP terhadap spesies fitoplankton laut dalam menstimulasi laju pertumbuhan dan tingkat kepadatan akumulasinya, maka digunakan data kepadatan jenis pertumbuhan sel spesies fitoplankton laut dalam beberapa jenis nutrisi MSSIP dengan membandingkan laju kepadatan jenis pertumbuhan spesies fitoplankton laut kedalam masing-masing nutrisi MSSIP yang digunakan.

Perbandingan laju kepadatan jenis spesies fitoplankton laut dalam nutrisi MSSIP Jenis A, B, C dan nutrisi D diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kepadatan Jenis Sel Fitoplankton Laut *D. salina* dalam Nutrien A, Nutrien B, Nutrien C dan Nutrien D.

JENIS FITOPLANKTON	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton (x 10 ⁴ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nutrien A (Urea : Fe = 3 : 9)												
A <i>D. salina</i>	2,5	13	35	105	398	825	953	1106	1245	1328	1201	1103
Nutrien B (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 6)												
KA <i>D. salina</i>	2,5	14	30	172	218	345	413	518	635	827	720	562
Nutrien C (Urea : Ni : Fe = 3 : 1 : 9)												
A1 <i>D. salina</i>	2,5	102	435	852	1117	1443	1563	1718	1525	1183	914	825
Nutrien D (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 9)												
A2 <i>D. salina</i>	2,5	80	103	252	317	415	593	688	835	980	994	921

Berdasarkan data pada Tabel 8 tersebut, ditemukan bahwa fitoplankton laut spesies *D. salina* pada nutrisi A

memiliki kepadatan tertinggi sekitar 1328 x 10⁴ sel/mL, ditemukan pada awal hari ke 10 kultur. Pada nutrisi B memiliki

kepadatan tertinggi sekitar 827×10^4 sel/mL, ditemukan pada awal hari ke 10 kultur. Pada nutrisi C memiliki kepadatan tertinggi sekitar 1718×10^4 sel/mL, ditemukan pada awal hari ke 8 kultur. Pada nutrisi D memiliki kepadatan tertinggi sekitar 994×10^4 sel/mL, ditemukan pada awal hari ke 11 kultur.

Informasi ini menunjukkan bahwa ion logam Fe dan Ni dibutuhkan oleh *D. salina* dalam pertumbuhannya, oleh karena dengan penambahan ion logam Ni 1/9 bagian dari ion logam Fe ke dalam nutrisi A membentuk nutrisi C maka akumulasi kepadatan selnya meningkat. Kondisi sebaliknya terjadi penurunan akumulasi sel fitoplankton laut *D.*

salina pada nutrisi B yang ditambahkan ion logam Co 2/3 bagian dari ion logam Fe atau pada nutrisi D dengan penambahan ion logam Co sama dengan ion logam Fe.

Selanjutnya pada Tabel 9, fitoplankton laut *C. gracilis* memiliki kepadatan tertinggi sekitar 1114×10^4 sel/mL dalam nutrisi A pada awal hari ke 8 kultur. Untuk nutrisi B, kepadatan tertinggi pada awal hari ke 11 kultur sekitar 825×10^4 sel/mL, dalam nutrisi C diperoleh kepadatan tertinggi sekitar 1392×10^4 sel/mL, pada awal hari ke 8 kultur, dan dalam nutrisi D memiliki kepadatan tertinggi sekitar 415×10^4 sel/mL, pada awal hari ke 12 kultur.

Tabel 9. Kepadatan Jenis sel fitoplankton laut *C. gracilis* dalam nutrisi A, nutrisi B, nutrisi C dan nutrisi D.

JENIS FITOPLANKTON		Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nutrien A (Urea : Fe = 3 : 9)													
E	<i>C. gracilis</i>	2,5	32	41	85	372	703	927	1114	1018	894	635	521
Nutrien B (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 6)													
ME	<i>C. gracilis</i>	2,5	10	25	33	72	103	227	324	418	604	825	758
Nutrien C (Urea : Ni : Fe = 3 : 1 : 9)													
E1	<i>C. gracilis</i>	25	101	405	883	1124	1201	1317	1392	1105	940	863	771
Nutrien D (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 9)													
F2	<i>C. gracilis</i>	2,5	40	52	80	97	128	135	184	214	382	407	415

Informasi yang diperoleh pada Tabel 9, menunjukkan bahwa ion logam Fe dan Ni juga sangat dibutuhkan oleh fitoplankton laut *C. gracilis* dalam pertumbuhannya oleh karena diperoleh akumulasi sel yang rata-rata lebih banyak pada nutrisi C, jika dibandingkan dengan

kultur pada nutrisi A, B dan D. Bahkan penambahan ion logam Co ke dalam nutrisi B, menunjukkan penurunan akumulasi pertumbuhan sel menjadi sekitar 1/2 bagian dan juga menurun 1/3 bagian dalam nutrisi D.

Tabel 10. Kepadatan Jenis sel fitoplankton laut *Spirulina sp.* dalam nutrisi A, nutrisi B, nutrisi C dan nutrisi D.

JENIS FITOPLANKTON	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nutrien A (Urea : Fe = 3 : 9)												
I <i>Spirulina sp.</i>	3,0	38	97	209	453	881	1305	1559	1812	2147	1970	1521
Nutrien B (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 6)												
O1 <i>Spirulina sp.</i>	3,0	11	35	81	315	501	705	937	1028	1125	1109	931
Nutrien C (Urea : Ni : Fe = 3 : 1 : 9)												
D1 <i>Spirulina sp.</i>	3,0	194	725	1135	1419	1774	2142	2571	2340	1801	1604	1207
Nutrien D (Urea : Fe : Co = 3 : 9 : 9)												
D2 <i>Spirulina sp.</i>	3,0	84	110	251	329	404	532	671	814	931	904	875

Berdasarkan data pada Tabel 10, ditemukan bahwa fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*, memiliki kepadatan tertinggi masing-masing sekitar 2147×10^4 sel/mL dalam nutrisi A pada awal hari ke 10 kultur, sekitar 1125×10^4 sel/mL dalam nutrisi B pada awal hari ke 10 kultur, dalam nutrisi C sekitar 2571×10^4 sel/mL pada awal hari ke 8 kultur, dan dalam nutrisi D memiliki kepadatan tertinggi sekitar 931×10^4 sel/mL, yang ditemukan pada awal hari ke 10 kultur.

Informasi pada Tabel 10 ini, menunjukkan bahwa ion logam Fe dan Ni sangat dibutuhkan oleh fitoplankton laut *Spirulina sp.* dalam pertumbuhannya, oleh karena dengan penambahan ion logam Ni 1/9 bagian ion logam Fe dalam nutrisi C maka akumulasi kepadatan selnya meningkat pesat, jika dibandingkan dalam nutrisi A, B dan D. sebaliknya pada nutrisi B dan C yang memperlihatkan bahwa ion logam Co yang ditambahkan kedalam nutrisi B dan C, malah menurunkan akumulasi sel *Spirulina sp.*

Berdasarkan informasi pada Tabel 8 - Tabel 10, menunjukkan bahwa ion logam Ni sangat dibutuhkan oleh fitoplankton laut

dalam pertumbuhannya, oleh karena dengan penambahan 1/9 bagian dari ion logam Fe, akumulasi sel fitoplankton laut rata-rata lebih banyak jika dibandingkan dengan penambahan ion logam Co sebanyak 2/3 bagian dari ion logam Fe.

Kondisi ini menunjukkan bahwa ke tiga spesies fitoplankton laut yaitu: *Dunaliella salina*, *Chlorellavulgaris* dan *Spirulina sp.*, memperlihatkan respon yang berbeda terhadap nutrient yang digunakan, hal ini oleh karena adanya perbedaan afinitasnya dengan ketiga ion logam Fe, Co dan Ni yang dianalisis termasuk perbedaan morfologi fitoplankton laut. Akan tetapi informasi ilmiah ini telah menunjukkan bahwa ion logam Fe, Co dan Ni pada jumlah tertentu sangat dibutuhkan pada pertumbuhan fitoplankton laut, walaupun pengaruhnya berbeda satu dengan yang lain. Bahkan dengan kehadiran ion logam Ni sebagai logam berat pada nutrisi C, memperlihatkan rata-rata pertumbuhan sel fitoplankton laut lebih tinggi jika dibandingkan dengan kehadiran ion logam Co pada nutrisi B, dan juga dalam nutrisi D, dimana dalam nutrisi D konsentrasi

ion logam Co yang digunakan 1,5 kali lebih besar dari nutrisi B, akan tetapi rata-rata pertumbuhan sel fitoplankton laut masih lebih tinggi pada nutrisi C yang diintegrasikan dengan ion logam Ni, walaupun hanya 1/9 bagian dari ion logam Fe.

Artinya untuk keempat nutrisi MSSIP yang digunakan, yaitu jenis nutrisi A, B, C dan D, memperlihatkan rata-rata kepadatan jenis terbesar untuk pertumbuhan sel fitoplankton laut, ditemukan pada nutrisi C. Namun demikian ketiga ion logam yang digunakan dalam komposisi nutrisi MSSIP yaitu ion logam Fe, Co dan Ni, merupakan ion logam yang dibutuhkan oleh fitoplankton laut, akan tetapi harus dengan menggunakan perbandingan yang

sesuai. Perbandingan terbaik yang dapat digunakan pada pertumbuhan sel spesies fitoplankton laut untuk ke tiga ion logam yaitu:Fe:Co:Ni adalah 9 : 6 : 1, dengan catatan menggunakan urea sebagai komponen tambahan sebanyak 3 bagian. Perbandingan ini akan diuji lagi dengan komposisi nutrisi MSSIP yang berbeda yaitu nutrisi E dan F untuk mencari komposisi terbaik perbandingan ketiga ion logam Fe, Co dan Ni.

Perbandingan laju kepadatan jenis fitoplankton laut dalam nutrisi MSSIP jenis nutrisi E (komposisi, urea : Fe : Co : Ni = 6 : 9 : 6 : 1) dan nutrisi F (komposisi, urea : Fe : Co : Ni = 6 : 9 : 6 : 3), diperlihatkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Kepadatan Jenis Sel Fitoplankton Laut dalam Nutrien E dan Nutrien F

JENIS FITOPLANKTON	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nutrien E												
A3 <i>D. salina</i>	2,5	11	29	35	44	58	88	120	139	115	85	77
B3 <i>C. vulgaris</i>	3,0	35	69	93	212	419	638	517	374	285	194	102
K3 <i>Spirulina sp.</i>	3,0	17	25	35	45	62	114	246	395	791	985	967
Nutrien F												
A4 <i>D. salina</i>	2,5	173	535	932	1125	1343	1518	1690	1425	1302	1034	821
B4 <i>C. vulgaris</i>	3,0	225	890	1127	1509	1974	2562	3095	2384	1803	1327	1164
I4 <i>Spirulina sp.</i>	3,0	181	775	1085	1302	1681	1939	2390	2581	2208	1831	1591

Berdasarkan pada Tabel 11, laju kepadatan jenis tertinggi untuk spesies *D. salina*, *C. vulgaris*, dan *Spirulina sp.*, ditemukan dalam nutrisi F jika dibandingkan dengan ke delapan spesies fitoplankton laut tersebut apabila dilakukan kultur dalam nutrisi E. Informasi ini menunjukkan bahwa laju kepadatan jenis tertinggi untuk spesies *D. salina* ditemukan pada nutrisi F yaitu sekitar

1690×10^4 sel/mL awal hari ke 8 kultur, apabila dibandingkan dengan nutrisi E hanya sekitar 139×10^4 sel/mL, yang ditemukan pada awal hari ke 9 kultur. Kondisi yang sama untuk spesies lain juga dapat dibandingkan dengan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah ion logam Ni dalam nutrisi E menjadi 1/3 bagian dari ion logam Fe dalam nutrisi F, pertumbuhan

fitoplankton laut malah meningkat menjadi semakin pesat. Kondisi ini sesuai dengan kepadatan jenis sel fitoplankton laut yang diperoleh menjadi semakin besar dan bahkan mencapai akumulasi sel lebih dari 10 kali, dengan tingkat akumulasi tertinggi yang ditemukan lebih cepat 1 hari pada nutrisi F jika dibandingkan dengan nutrisi E.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa nutrisi F lebih baik dari nutrisi E dimana ion logam Ni yang digunakan dalam nutrisi F, komposisinya 3 kali lebih besar dari komposisi dalam nutrisi E. Berdasarkan hasil yang diperoleh setelah perlakuan kultur dengan nutrisi E dan nutrisi F, perbandingan komposisi ketiga ion logam Fe, Co dan Ni yang terbaik untuk digunakan dalam kultur spesies fitoplankton laut uji adalah 9 : 6 : 3.

Untuk lebih memastikan komposisi terbaik perbandingan ketiga ion logam Fe, Co dan Ni yaitu (9 : 6 : 3), maka dilakukan analisis perbandingan pada kultur dalam nutrisi MSSIP yang lain yaitu pada nutrisi F1 dan nutrisi F2. Komposisi masing-masing nutrisi F1 dan nutrisi F2 yang digunakan adalah: Nutrisi F1 (Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 6) dan nutrisi F2 (Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 12).

Komposisi nutrisi F2 menggunakan ion logam Co, konsentrasinya 2 kali lebih besar jika dibandingkan dengan nutrisi F1, sementara komposisi yang lain dibuat konstan. Hasil laju kepadatan jenis fitoplankton laut dalam nutrisi MSSIP jenis nutrisi F1 dan nutrisi F2 diperlihatkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Kepadatan Jenis sel fitoplankton laut dalam Nutrisi F1 dan dalam Nutrisi F2

JENIS FITOPLANKTON	Kepadatan Pertumbuhan Fitoplankton ($\times 10^4$ sel/mL)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nutrisi F1 (Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 6)												
A4-1 <i>D. salina</i>	10	231	714	1213	1545	2192	1321	917	775	701	854	816
B4-1 <i>C. vulgaris</i>	10	397	995	2120	3765	6854	9700	6905	4732	2606	1801	1372
I4-1 <i>Spirulina sp.</i>	10	382	991	2792	5985	3753	2871	2154	1598	1982	1431	1109
Nutrisi F2 (Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 12)												
A4-2 <i>D. salina</i>	10	214	595	931	1128	1305	1411	1698	1892	1620	1374	1052
B4-2 <i>C. vulgaris</i>	10	385	984	1405	2951	4092	5730	7824	9290	5847	3734	2951
I4-2 <i>Spirulina sp.</i>	10	112	390	769	1071	1191	1335	1452	1306	1104	1013	892

Berdasarkan Tabel 12, diperoleh perbandingan laju kepadatan jenis spesies fitoplankton laut yang digunakan pada kultur dengan medium MSSIP jenis nutrisi F1 dan nutrisi F2, memiliki perbedaan yang jelas dan sangat nyata. Laju kepadatan pertumbuhan dan laju akumulasi sel fitoplankton laut pada

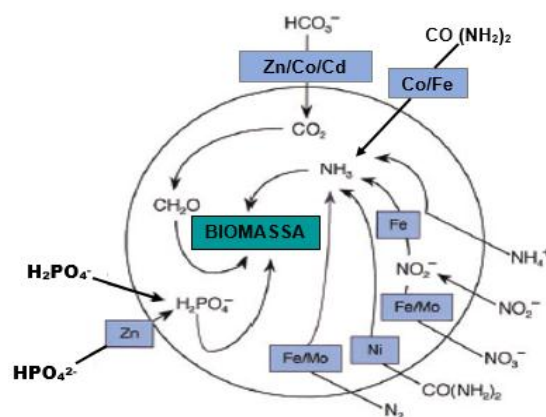
kultur dengan medium nutrisi F1 lebih besar dibandingkan dengan menggunakan nutrisi F2 terhadap spesies fitoplankton laut yang dijadikan sampel. Akumulasi kepadatan sel fitoplankton laut *D. salina* tertinggi pada awal hari ke 6 yaitu 2192×10^4 sel/mL dalam nutrisi F1 dan dalam nutrisi F2

pada awal hari ke 9 kultur hanya sekitar 1892×10^4 sel/mL.

Kondisi ini menunjukkan bahwa nutrisi F1 yang digunakan dengan komposisi komponennya adalah Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 6, lebih baik jika dibandingkan dengan nutrisi F2 dengan komposisi Urea : Arschat-M : Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 12. Kedua nutrisi ini memiliki komponen yang sama, hanya konsentrasi ion logam Co yang digunakan dalam nutrisi F2 adalah 2 kali lebih besar dibandingkan dalam nutrisi F1. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi ion logam Co menjadi 2 kali lebih besar, menghasilkan penurunan laju kepadatan pertumbuhan dan laju akumulasi sel fitoplankton laut. Berdasarkan informasi ini disimpulkan bahwa perbandingan konsentrasi ion logam Fe, Co dan Ni yang terbaik untuk digunakan dalam kultur pertumbuhan fitoplankton laut adalah: 9 : 6 : 3, dengan catatan tetap diintegrasikan dengan komponen lain, yaitu pupuk urea dan nutrisi Arschat-M.

Integrasi ion logam Fe, Co dan Ni pada biomassa fitoplankton laut dengan perbandingan terbaik untuk ion logam Fe:Co:Ni = 9 : 6 : 3, yang ditemukan dalam penelitian ini memiliki pola interaksi yang berbanding lurus dengan perbandingan yang ditemukan oleh Morel(2008). Interaksi ion logam Fe^{2+} relatif lebih besar jika dibandingkan dengan ion logam Co^{2+} dan interaksi ion logam Co^{2+} relatif lebih besar dari ion

logam Ni^{2+} . Pola interaksi ion logam Fe, Co dan Ni terhadap ligan-ligan yang ada dalam biomassa fitoplankton laut, disajikan pada Gambar 4, yang memperlihatkan bahwa urutan kekuatan pola interaksi ion logam tersebut secara berurutan adalah sebagai berikut yaitu: $Fe > Co > Ni$.



Gambar 4. Pola interaksi ion logam Fe, Co dan Ni terhadap ligan pada biomassa fitoplankton laut (Morel, 2008, Kasim, 2016).

Hal ini dapat dijelaskan dengan baik oleh karena sesuai dengan teori ikatan logam ligan dalam deret kekuatan ligan dalam berikatan dengan ion logam, yang juga sesuai dengan teori ikatan valensi, teori medan ligan, dan teori orbital molekul. Ion logam Fe^{2+} memiliki 4 orbital, ion logam Co^{2+} 3 orbital dan ion logam Ni^{2+} 2 orbital pada sub kulit 3d yang tidak berpasangan dalam bentuk high spin kompleks yang berikatan dengan ligan lemah. Apabila berbentuk low spin kompleks, ion logam Fe^{2+} tidak memiliki orbital, ion logam Co^{2+} 1 orbital dan ion logam Ni^{2+} 2 orbital pada sub kulit 3d yang tidak berpasangan apabila berikatan

dengan ligan kuat. (Sugiarto, 2012;Sjahrul, 2010;Cotton, 1989).Berdasarkan informasi ini menunjukkan bahwa nutrien F1 lebih baik dari nutrien F2, terhadap sampel fitoplankton laut yang digunakan yaitu *D. salina*, *C. vulgaris*, dan *Spirulina sp.*

Kultur Germinasi dan Penentuan Laju Pertumbuhan Spesifik

Kultur fitoplankton laut pada tahap germinasi sebelum kultur massal yang merupakan tahap pengembangbiakan dan prakondisi sel fitoplankton laut sebelum kultur massal. Pada tahap ini laju kepadatan jenis pertumbuhan spesies fitoplankton laut uji berdasarkan jenis nutrien yang telah ditemukan, dipakai untuk menentukan laju kepadatan pertumbuhan spesifik, waktu kultur terbaik dan akumulasi sel fitoplankton laut

terbanyak. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 13.

Artinya ion logam Fe, Co dan Ni berdasarkan data pada Tabel 12, dapat menstimulus laju akumulasi terbanyak pada fitoplankton laut spesies *C. vulgaris* dengan bantuan komponen pupuk urea dan pupuk ZA, yaitu $1,125 \times 10^8$ sel/mL. Informasi lain adalah laju kepadatan jenis pertumbuhan tertinggi sekitar 0,0667 sel/mL/Jam yang ditemukan pada hari ke 4 kultur pada spesies fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.*, menggunakan nutrien MSSIP (nutrien F1) dengan komposisi nutrien (Urea : Arschat-M: Fe : Ni : Co = 6 : 3 : 9 : 3 : 6). Hal ini berarti bahwa ion logam Fe, Co dan Ni dalam nutrien MSSIP dapat mempercepat laju kepadatan pertumbuhan fitoplankton laut dengan keterlibatan komponen lain yaitu pupuk urea dan nutrien Arschat-M.

Tabel 13.Laju Kepadatan Pertumbuhan Spesifik Tertinggi dan Akumulasi Terbanyak Biomassa Sel Fitoplankton Laut.

Sampel Fitoplankton Laut	Ukuran (μm)	Waktu (hari)	Pengamatan (sel/mL)		μ (Jam^{-1})
			N_0	N_t	
<i>D. salina</i> (A6)	5 – 8	9	100.000	22.430.000	0,0251
<i>D. salina</i> (A9)		4	100.000	8.140.000	0,0458
<i>C. vulgaris</i> (B7)	3 – 4	8	100.000	112.500.000	0,0366
<i>C. vulgaris</i> (B4-1)		6	100.000	97.000.000	0,0573
<i>Spirulina sp.</i> (I6)	5 – 7	9	100.000	110.300.000	0,0325
<i>Spirulina sp.</i> (I4-1)		4	100.000	59.850.000	0,0667

Informasi ini memperlihatkan fungsi ion logam Fe, Co dan Ni, apabila diintegrasikan dengan pupuk urea dan pupuk ZA akan mampu memperbanyak sel fitoplankton laut, sekaligus mempertegas kemungkinan penemuan medium yang lebih ekonomis, jika

dibandingkan dengan medium yang telah ada dan komposisi komponennya banyak serta harganya relatif lebih mahal. Kondisi ini jelas menjadi informasi penting, agar nantinya dapat terus dilakukan pengkajian secara lebih serius, terhadap pencarian berbagai alternatif jenis komponen nutrien

yang dapat berfungsi menstimulasi laju pembentukan biomassa sel spesies fitoplankton laut yang lebih cepat pertumbuhannya dan lebih banyak akumulasi selnya.

Kultur Massal Spesies Fitoplankton Laut Uji

Hasil penentuan kandungan biomassa fitoplankton laut, disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Kandungan Biomassa Fitoplankton Laut.

No.	Spesies Fitoplankton Laut	Berat Kering Biomassa Fitoplankton Laut (g/L)
1	<i>D. salina</i>	0,3095
2	<i>C. vulgaris</i>	0,3782
3	<i>Spirulina sp.</i>	0,3325

Berdasarkan data pada Tabel 14, diperoleh kandungan berat kering biomassa fitoplankton laut tertinggi adalah 0,3782 g/L untuk spesies *Chlorella vulgaris*, dan kandungan biomassa fitoplankton laut terendah diperoleh dari spesies *Dunaliella salina* yaitu sekitar 0,3095 g/L, namun ketiga spesies

fitoplankton laut memperlihatkan hasil yang relative sama, menunjukkan bahwa ketiganya berpotensi untuk dilakukan kultur massal.

Hasil Analisis Karbohidrat

Analisis kandungan karbohidrat dalam biomassa spesies fitoplankton laut dilakukan dengan menggunakan metode penentuan gula reduksi yaitu cara Luff Schoorl, hasilnya diperlihatkan pada Tabel 15.

Sesuai data pada Tabel 15, diperoleh akumulasi kandungan karbohidrat tertinggi dalam biomassa fitoplankton laut adalah dari spesies *D. salina* yaitu sekitar 32,49 %b/b, dan akumulasi terendah pada spesies *Spirulina sp.* yaitu sekitar 29,81 %b/b. Kondisi ini menunjukkan bahwa fitoplankton yang memiliki bentuk morfologi dan ukuran sel yang lebih besar seperti *Dunaliella salina* memiliki potensi membentuk karbohidrat lebih banyak, informasi ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Guerrero (2010).

Tabel 15. Data Kandungan dan Kadar Karbohidrat Fitoplankton Laut Hasil Kultur untuk volume 1000 mL.

No	Jenis Fitoplankton	Berat Kering (mg)	Berat Karbohidrat (mg)	Kadar Karbohidrat (%b/b)
1	<i>D. salina</i>	0,3095	0,1006	32,49
2	<i>C. vulgaris</i>	0,3782	0,1195	31,58
3	<i>Spirulina sp.</i>	0,3325	0,0991	29,81

Hasil Analisis Lemak

Hasil kandungan lemak dalam spesies fitoplankton laut uji yang dianalisis

menggunakan metode soxhlet (SNI 2453-90) dengan pelarut n-heksana adalah, diperlihatkan pada Tabel 16.

Berdasarkan Tabel 16, diperoleh kandungan lemak tertinggi pada fitoplankton laut spesies *Chlorella vulgaris* yaitu 26,82 %b/b, dan kandungan lemak terendah pada fitoplankton laut spesies *Spirulina sp.* yaitu sekitar 24,53 %b/b.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kompleksitas sistem morfologi dan proses metabolisme pada

Tabel 16. Kandungan dan Kadar Lemak Fitoplankton Laut Hasil Kultur massal.

No.	Jenis Fitoplankton	Berat Kering (mg)	Berat Lemak (mg)	Kadar Lemak (%b/b)
1	<i>D. salina</i>	0,3095	0,0803	25,95
2	<i>C. vulgaris</i>	0,3782	0,1015	26,82
3	<i>Spirulina sp.</i>	0,3325	0,0816	24,53

Informasi ini menunjukkan potensi kultur massal ketiga spesies fitoplankton laut yaitu *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina sp.*, sehingga dapat dilakukan kultur lebih lanjut dalam skala lebih besar atau kultur biomassa menggunakan nutrisi MSSIP yang ditemukan untuk mendukung kesiapan dan ketersediaan bahan baku produksi biofuel jenis bioetanol dan biodiesel.

KESIMPULAN

1. Jenis fitoplankton laut yang dianalisis dengan nutrisi MSSIP adalah: *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina sp.*
2. Nutrisi MSSIP yang digunakan, memiliki kemampuan yang baik untuk menumbuhkan fitoplankton laut pada skala kultur murni germinasi dan kultur massal, sebagaimana nutrisi yang lain yang telah dilakukan pada penelitian

fitoplankton dapat berpengaruh terhadap akumulasi senyawa organik hasil metabolisme yang lebih besar dalam jaringan morfologi fitoplankton tersebut, khususnya senyawa organik penyusun molekul lemak seperti gliserol, asam karboksilat, trigliserida dan lain-lain (Parker, 1998; Ragauskas et al., 2006).

terdahulu mulai dari Nutrien Conway, Arschat, Arschat-M dan Syabr-1.

3. Ion logam Fe, Co dan Ni merupakan logam yang dibutuhkan oleh fitoplankton laut dalam pertumbuhannya selama digunakan dengan jumlah perbandingan yang tepat.
4. Kandungan biomassa ke tiga fitoplankton laut yang dianalisis, potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku untuk produksi biofuel jenis bioetanol dan biodiesel apabila diproduksi pada kultur secara kontinyu, oleh karena kandungan biomassa, karbohidrat dan lemaknya yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. 2010. *Bioakumulasi Ion Logam Cd Oleh Fitoplankton Laut Tetraselmis Chuii dan Chaetoceros Calcitrans*. Desertasi tak diterbitkan. Makassar:

- Program Studi Kimia Pasca Sarjana Unhas.
- Bu-Olayan AH., Al-Hassan R., Thomas BV., Subrahmanyam MNV. 2011. Impact of Trace Metals and Nutrients Levels on Phytoplankton from the Kuwait Coast. *Environment International*. 26(4):199-203.
- Cermeno P., de Vargas C., Abrantes F., Flakowski PG. 2010. Phytoplankton Biogeography and Community Stability in the Ocean. *Plosone*. 5(4): e10037.
- Chisti Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trend in Biotechnology*. 26(3): p 126-131.
- Coleman R. D., R. L. Coleman, E. L. Rice. 2008. Zinc and Cobalt Bioconcentration and Toxicity in Selected Algae Species. *Botanical Gazette*. 139(2): 102-109.
- Cotton, F. Albert, 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: Universitas Indonesia Press. 144-186.
- Goksan, T. Zekeriyaoğlu, A. AK, İlknur. 2007. The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems Under Greenhouse Condition. *Turkish Journal of Biology*. 31(1): 47 – 52.
- Guerrero M.G. 2010. *Bioethanol from Microalgae*. Sevilla: Instituto Bioquímica Vegetal y Fotosintética. pp 26.
- Hadiyanto, Istiyanto Samidjan, Andri Cahyo Kumoro dan Silviana. 2010. Produksi Mikroalga Berbiomassa Tinggi dalam Bioreaktor Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*; Yogyakarta, 26 Januari 2010. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta. Hlm 104-112.
- Hedges JL., Geinas Y., Baldock JA., Wakeham S. 2002. The biochemical and Elemental Compositions of Marine Plankton (A NMR Perspective). *Marine Chemistry*. 78(1): 47-63.
- Kasim S., M. Sjahrul. 2012. Isolation and Identification of Marine Phytoplankton for Production of Carbohydrate Type Biomass. *Journal European Chemical Bulletin (ECB)*. 1(8): 311-316.
- Kasim S., M. Sjahrul. 2012. *Pemanfaatan Fitoplankton Laut untuk Produksi Bahan Bakar Nabati Berbentuk Bioetanol*. Makassar: Jurusan Biologi Fakultas MIPA Unhas.
- Kasim, S., 2016. *The Study of Marine Phytoplankton Species as The Producer of Biomass and Biofuel Grown in Culture With The Integrated Nutrient of Metal Ions Fe, Co and Ni*. [Disertasi S3]. Makassar: Pasca Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Mipa Unhas.
- Khan S.A., Rashmi, Hussain Mir, Z., Prasad, S., Banerjee, U.C., 2009. Prospects of Biodiesel Production from Microalgae in India. *Journal of Renew Sust Energy Rev*. 13:2361-72.
- Morel, Francois M.M., 2008. The Co-Evolution of Phytoplankton and Trace Element Cycles in the Oceans. *J. Compil. Geobiol*. 6: 318-324.
- Wu N., Fohrer N., Scmalz B. 2010. Distribution of Phytoplankton in a German Lowland River in Relation to Environmental Factor. *Journal Plankton Res*. 33: 807-820.
- Nontji. A. 2008. *Plankton Laut*. Jakarta: LIPI Press.
- Parker D. L. 1998. Effects of Cellular Metabolism and Viability on Metal Ion Accumulation by Cultured Biomass from a Bloom of the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *J. ASM.org. App. and Environ. Microbiol*. 64(4):1545.
- Ragauskas A.J., Williams, C.K., Davison, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Frederick, W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Mielenz, J.R. Murphy, R., Templer,

- R., Tschaplinski, T. 2006. The Path Forward for biofuels and biomaterials. *Science* 311: 484-489.
- Rodolfi I., Zittelli, G.C., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G. et al. 2008. Microalgae for Oil: Strain Selection, Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnologi Bioeng.* 102(1):100-12.
- Sanchez. M., Castillo, J.B., Roza, C. Rodriguez, I. 2008. Spirulina (Arthrospira): An-Edible Microorganism. A Review. *Javeriana Cra. Bogota.* 7: 43-88.
- Sanusi, H. S. 2006. *Kimia Laut. Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan.* Bogor: IPB.
- Sharma K., Schuhmann H., Schenk PM. 2012. High Lipid Induction in Microalgae for Biodiesel Production. *Energies.* 5(5): 1532-1553.
- Sjahrul, M., 2010. *Dasar-Dasar Kimia Anorganik.* Makassar: PT. Umitoha Ukhuwah Grafika.
- Sugiyarto, Kristian H., 2012. *Dasar-Dasar Kimia Anorganik Transisi.* Yogyakarta; Graha ilmu. pp 116-175.