

## **Kandungan Beberapa Logam di Dalam Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* di Perairan Kabupaten Bantaeng**

Liestiaty Fachruddin dan Khusnul Yaqin\*

Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin,  
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 Tamalanrea, Makassar 90241

\*e-mail: khusnul@gmail.com

### **ABSTRAK**

Kandungan logam pada rumput laut yang berlebih dapat memberikan efek negatif pada rumput laut dan juga manusia yang mengonsumsinya. Telah dilakukan penelitian kandungan logam pada rumput laut *Kappaphycus alvarezii* yang dibudidayakan di perairan Bantaeng. Penelitian ini dilakukan dengan memelihara bibit rumput laut di beberapa wilayah yang diduga minim dengan buangan limbah (stasiun Borongloe/B dan Papanloe/P) dan yang banyak mengalami gelontoran limbah (Stasiun Rumah Sakit/RS). Sebelum dan sesudah dipelihara selama 45 hari, dilakukan analisis beberapa logam pada rumput laut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan logam di dalam tubuh rumput laut. Logam Fe meningkat dari 0,656 mg/kg BK menjadi 56,555, 14,460, dan 5,740 mg/kg BK pada masing-masing di stasiun B, P, dan RS. Hal yang sama terjadi pada logam Zn, yang mana Zn tidak terdeteksi pada bibit dan terjadi akumulasi logam Zn pada akhir pemeliharaan dengan konsentrasi 0,006, 0,270, 1,664 mg/kg BK pada masing-masing stasiun B, P, dan RS. Logam Cu mengalami akumulasi di stasiun B dari 0,732 ke 1,711 mg/kg BK dan depurasi di Stasiun P dan RS masing-masing dari 0,732 ke 0,307 dan 0 mg/kg BK. Logam Ni terdeteksi di dalam bibit dengan kadar 0,510 mg/kg BK dan meningkat menjadi 0,647 dan 0,630 mg/kg BK pada masing-masing stasiun B dan RS. Akan tetapi Ni mengalami depurasi dari 0,510 mg/kg BK menjadi 0,277 mg/kg BK di stasiun P. Kemungkinan penggunaan *K. alvarezii* sebagai eco-sentinel organism dalam kegiatan monitoring bahan pencemar dan biosorben akan didiskusikan di makalah ini.

Kata Kunci: logam, *Kappaphycus alvarezii*, eco-sentinel organism, biosorben, Bantaeng

### **Pendahuluan**

Kabupaten Bantaeng saat sekarang ini dikenal dengan Kabupaten dengan produksi budidaya rumput laut *Kappaphycus alvarezii* yang tinggi. Dari data statistik Dinas Perikanan dan Kelautan tahun 2011 di Bantaeng tercatat jumlah RTP pembudidaya rumput laut yaitu 3,197 orang yang memanfaatkan sekitar 2.888,8 ha. Luas itu berarti 50.7% dari total luas wilayah yang bisa ditanami rumput laut ( $\pm$  5.375 ha) (Dinas Kelautan dan Perikanan Sulawesi Selatan, 2011). Hal ini menjadikan Kabupaten Bantaeng ditunjuk sebagai salah sentra budidaya dan pengembangan rumput laut di Sulawesi Selatan.

Di samping itu Kabupaten Bantaeng sekarang ini sedang melakukan upaya peningkatan aktivitas ekonomi dan industri untuk memacu peningkatan pendapatan daerah dan masyarakat. Aktivitas seperti itu di satu sisi akan memberikan keuntungan ekonomi bagi pemerintah dan masyarakatnya, pada sisi yang lain dapat menimbulkan dampak buruk berupa limbah antropogenik. Salah satu limbah antropogenik adalah unsur logam.

Logam baik esensial maupun non-esensial bila kandungannya melebihi batas kapasitas yang dibutuhkan atau kemampuan organisme perairan untuk mengatasi keberadaan logam di tubuhnya, maka ia akan membahayakan kelangsung hidup organisme perairan. Pertumbuhan rumput laut dapat dihambat oleh beberapa jenis logam yang pada muaranya akan merugikan petani rumput laut. Di sisi lain bila logam diserap oleh rumput laut, maka ia akan disimpan secara intra maupun ekstra seluler oleh rumput laut (García-Ríos, *et al.*, 2007). Ketika rumput laut yang mengandung bahan pencemar logam itu dikonsumsi manusia, maka logam akan terakumulasi ke dalam tubuh manusia yang pada akhirnya dapat menimbulkan problem bagi kesehatan manusia (Volesky, 2001).

Oleh karena itu keberadaan logam di dalam rumput laut perlu menjadi perhatian khusus pemerintah dan masyarakat, sedemikian sehingga sumber pangan laut, seperti rumput laut dapat tumbuh dengan optimal dan tidak mengganggu kesehatan manusia yang konsumsinya.

Untuk mengontrol keberadaan logam di dalam rumput laut perlu dilakukan studi kandungan residu logam di dalam tubuh rumput laut. Di sisilain penelitian yang berfokus pada kandungan logam pada rumput laut di perairan Bantaeng masih sedikit. Oleh karena itu dalam makalah ini akan diuraikan hasil penelitian kandungan beberapa logam di dalam tubuh rumput laut *K. alvarezii*.

## Bahan dan Metode

**Alat dan bahan.** Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Atomic Absortion Spectrophometer (AAS)*, DO meter, pH Meter, Hand Refractometer, layang-layang arus, *secchi disk*, *cool box*. Bahan yang digunakan yaitu rumput laut, *Kappaphycus alvarezii*.

**Lokasi penelitian.** Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Bantaeng pada bulan Juni hingga September 2014. Stasiun pengambilan sampel di lokasi budidaya rumput laut pada wilayah yang kurang pasokan limbah antropogenik dan yang memunyai pasokan antropogenik yang tinggi. Dua stasiun terletak di daerah yang pasokan antropogeniknya diperkirakan rendah, yaitu di stasiun B (Borongloe) dan P (Papanloe). Satu lagi stasiun terletak di depan Rumah Sakit yang memiliki pasokan limbah yang tinggi (RS). Pada setiap stasiun dibagi menjadi empat sub-stasiun yang berjarak kurang lebih 100 meter. Lokasi penelitian dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian. B dan P adalah wilayah yang rendah pasokan limbah antropogeniknya dan RS adalah wilayah yang tinggi pasokan limbah antropogeniknya (Yaqin dkk. 2014).

## Pengambilan sampel

Dalam penelitian ini bibit rumput laut yang akan dibudidayakan dijadikan sebagai data awal (*base-line*) kandungan logam di dalam rumput laut. Bibit diperoleh dari petani rumput laut di Bantaeng. Selanjutnya, bibit dipilih secara acak dan dibawa ke laboraotium untuk dianalisis kandungan logamnya. Bibit setelah itu ditebar di area budidaya yang sudah ditentukan dengan teknik budidaya *long line*. Setelah 45 hari dilakukan pemanenan rumput laut. Rumput laut hasil panen juga dipilih secara acak untuk dianalisis logamnya di laboratorium. Analisis logam dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut, salinitas, kecerahan, fosfat, nitrat dan kecepatan arus diukur secara *in situ* kecuali, fosfat dan nitrat dianalisis di

laboratorium Produktivitas dan Kualitas Air Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Logam Fe, Cu, Zn dan Ni di perairan juga dianalisis di laboratorium.

Laju bioakumulasi (LB) logam diukur dengan rumus (Yap, *et al* 2003)

$$LB \left( \frac{mg}{kgBK} / hari \right) = \frac{KP - KK}{t}$$

KP = Konsentrasi logam pada rumput laut dewasa (mg/kg BK)

KK = Konsentrasi logam pada bibit rumput laut (mg/kg BK)

t = durasi pemaparan (hari)

### Analisis Data

Data dianalisis dengan statistik deskriptif dan inferensia. Gambaran data akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisis statistik inferensia dilakukan pertama-tama dengan menguji normalitas dan homogenitas data. Bila data normal dan homegen, maka data dianalisis dengan menggunakan analisis of variant (ANOVA) untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan konsentrasi logam pada rumput laut di masing-masing stasiun. Transformasi data dilakukan bila data tidak berdistribusi normal dan homegen. ANOVA digunakan untuk mengetahui perbedaan konsentrasi logam pada rumput laut di setiap stasiun, bila data telah proses transformasi menjadi berdistribusi normal dan homogen. ANOVA non parametrik digunakan jika data hasil transformasi tetap tidak berdistribusi normal dan homogen. ANOVA non parametrik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Kruskal-Wallis, Tukey-test atau Dunn-Multiple Comparison Test Uji lanjutan digunakan.

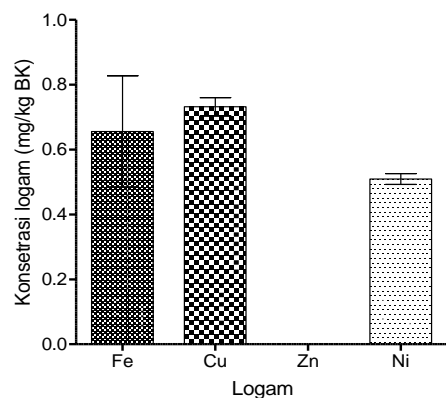
### Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi empat logam di perairan tempat budidaya rumput laut *K. alvarezii* dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel itu dapat dilihat bahwa konsentrasi logam yang tertinggi pada stasiun B dan P adalah Fe masing yaitu 1,212 dan 1,919 mg/l, sedangkan konsentrasi logam tertinggi di stasiun RS adalah Zn yaitu 0,270 mg/l. Logam Zn tidak terdeteksi di stasiun P. Konsentrasi logam Cu tidak terdeteksi di stasiun RS dan terbesar di stasiun P yaitu 0,824 mg/l. Konsentrasi logam Ni tertinggi di stasiun P (0,351 mg/l) disusul di stasiun B (0,339 mg/l) dan stasiun RS (0,223 mg/l).

**Tabel 1. Konsentrasi beberapa logam di perairan ketika panen rumput laut (Yaqin, *et al.*, 2014).**

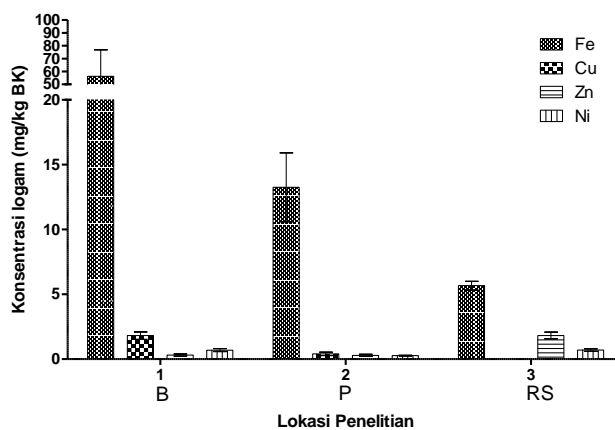
Nama stasiun	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Ni (mg/l)
B1	1.339	0.634	0.016	0.37
B2	0.319	0.676	ttd	0.327
B3	1.339	0.71	ttd	0.328
B4	1.849	0.738	0.006	0.331
<b>Rata-rata</b>	<b>1.212</b>	<b>0.690</b>	<b>0.006</b>	<b>0.339</b>
<b>SD</b>	<b>0.642</b>	<b>0.045</b>	<b>0.008</b>	<b>0.021</b>
P1	2.615	0.773	ttd	0.373
P2	3.253	0.801	ttd	0.339
P3	1.849	0.843	ttd	0.342
P4	0	0.878	ttd	0.351
<b>Rata-rata</b>	<b>1.929</b>	<b>0.824</b>		<b>0.351</b>
<b>SD</b>	<b>1.408</b>	<b>0.046</b>		<b>0.015</b>
RS1	0.296	ttd	0.011	0.205
RS2	0.374	ttd	0.013	0.227
RS3	0.298	ttd	0.527	0.22
RS4	0.314	ttd	0.53	0.239
<b>Rata-rata</b>	<b>0.321</b>		<b>0.270</b>	<b>0.223</b>
<b>SD</b>	<b>0.037</b>		<b>0.298</b>	<b>0.014</b>
<b>Baku Mutu</b>	*	0.008	0.05	0.05

Keterangan: Baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 untuk biota air, \* = tidak tercantum dalam daftar baku mutu, ttd = tidak terdeteksi. SD= Standard Deviasi.



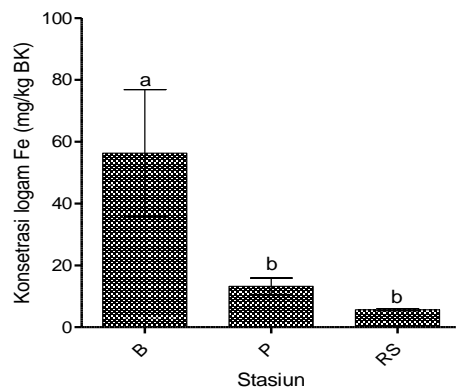
Gambar 2. Kandungan beberapa logam di dalam bibit rumput laut, *K. alvarezii* (Yaqin *et al.*, 2014).

Dari Gambar 2 dapat diamati bahwa bibit rumput laut yang ditebar di tempat budidaya sudah mengandung beberapa logam esensial yang dipilih, kecuali Zn. Hal ini menunjukkan bahwa bibit rumput laut yang digunakan di Bantaeng telah mengandung logam-logam esensial seperti Fe, Cu dan Ni.



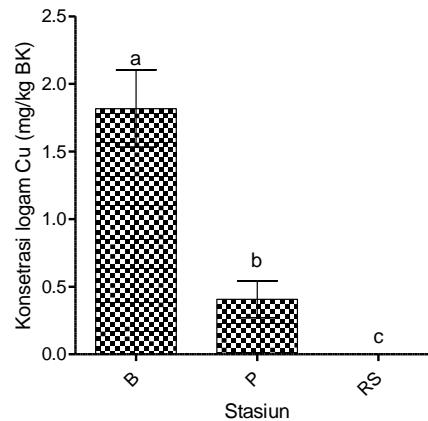
Gambar 3. Konsentrasi empat logam di dalam rumput laut yang telah dipelihara selama 45 hari di perairan Kabupaten Bantaeng. Bar adalah standard error (Yaqin *et al.*, 2014).

Gambar 3 menunjukkan bahwa selain ada penambahan konsentrasi logam di dalam rumput laut seperti pada Fe dan Zn, juga terdapat pengurangan konsentrasi logam Cu dan Ni atau yang dikenal dengan proses depurasi logam. Logam Fe adalah logam yang diakumulasi oleh rumput laut dalam jumlah yang terbesar disusul oleh Cu, Zn dan Ni.



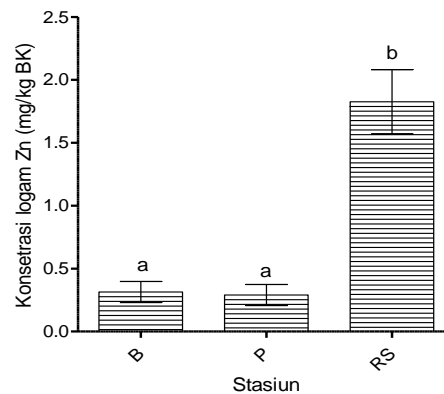
Gambar 4. Perbandingan logam Fe di dalam tubuh rumput laut yang dibudidayakan pada stasiun yang berbeda. Bar adalah standard error. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik ( $p < 0,05$ ) (Yaqin *et al.*, 2014).

Gambar 4 mendeskripsikan konsentrasi Fe di dalam rumput laut yang dipelihara pada lokasi yang berbeda. Setelah dianalisis normalitasnya, data berdistribusi tidak normal. Oleh karena itu dilakukan transformasi terhadap data dengan menggunakan transformasi logaritma. Setelah ditransformasi, data berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji ANOVA dengan uji *post hoc* Benferoni. Hasil dari uji Benferoni menunjukkan bahwa konsentrasi logam Fe pada rumput laut di stasiun B berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dengan yang dipelihara di stasiun P dan RS. Konsentrasi Fe tidak berbeda nyata pada rumput laut yang dipelihara di stasiun P dan RS ( $p > 0,05$ ).



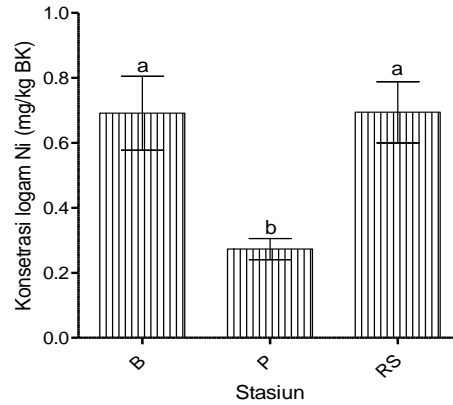
**Gambar 5.** Perbandingan logam Cu di dalam tubuh rumput laut yang dibudidayakan pada stasiun yang berbeda. Bar adalah standard error. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik ( $p < 0,05$ ) (Yaqin *et al.*, 2014).

Data konsentrasi logam Cu berdistribusi normal. Karena data Cu di stasiun RS tidak terdeteksi, maka pengujian dilakukan dengan t-student dan hasilnya menunjukkan bahwa ada perbedaan yang nyata logam Cu di stasiun B dan P. Tentunya karena kandungan Cu di stasiun RS tidak terdeteksi, maka kandungan Cu di stasiun RS berbeda dengan stasiun B dan P (Gambar 5).



**Gambar 6.** Perbandingan logam Zn di dalam tubuh rumput laut yang dibudidayakan pada stasiun yang berbeda. Bar adalah standard error. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik ( $p < 0,05$ ) (Yaqin *et al.*, 2014).

Data logam Zn tidak berdistribusi normal dan tidak homogen. Setelah ditransformasi dan diuji normalitas dan homogenitasnya, data Zn berdistribusi normal dan homogen. Oleh karena itu uji ANOVA digunakan untuk mendeterminasi perbedaan rata-rata dari kadar Zn di masing-masing stasiun. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antara stasiun B dan P. Akan tetapi kandungan Zn di stasiun RS berbeda nyata dengan kandungan Zn rumput laut yang dipelihara di stasiun B dan P.



**Gambar 7.**Perbandingan logam Ni di dalam tubuh rumput laut yang dibudidayakan pada stasiun yang berbeda. Bar adalah standard error. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik ( $p < 0,05$ ) (Yaqin *et al.*, 2014).

Data konsentrasi logam Ni di dalam rumput laut berdistribusi normal, akan tetapi variannya tidak homogen. Oleh karenanya data ditransformasi dengan menggunakan transformasi logaritma yang selanjutnya dilakukan uji homogenitas. Hasilnya menunjukkan bahwa varian data hasil transformasi adalah homogen. Selanjutnya dilakukan uji ANOVA dan post hoc yang mana hasilnya seperti dapat dilihat pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa konsentrasi rumput laut yang dibudidayakan di stasiun B dan P tidak berbeda nyata, sedangkan keduanya berbeda nyata dengan konsentrasi logam Ni di dalam rumput laut yang dipelihara di stasiun B.

**Tabel 2.** Faktor-faktor oseanografis dan kualitas air perairan Bantaeng (Yaqin, *et al.*, 2014)

Nama stasiun	Kecerahan (cm)	Arus (m/detik)	pH	Salinitas (permil)	Kedalaman (m)	Suhu C	DO (mg/L)	PO4 (mg/l)	Nitrat (mg/L)
B1	96	0.19	8.3	35	5.5	32	5.7	0.05	0.223
B2	110	0.17	8.1	35	6	31.2	5.3	0.10	0.417
B3	124	0.12	8	35	6	31.4	5.1	0.08	0.172
B4	105	0.09	8.1	33	6	31.52	5.2	0.07	0.099
Rata-rata	108.750	0.144	8.125	34.500	5.875	31.530	5.325	0.075	0.228
SD	11.701	0.048	0.126	1.000	0.250	0.340	0.263	0.021	0.136
P1	142	0.11	8.1	34	6	31.7	6.8	0.09	0.264
P2	138	0.06	8.1	35	4	31.1	6.9	0.11	0.208
P3	121	0.11	8	34	3	30.5	6.9	0.10	1.137
P4	136	0.06	8.1	34	1.5	31.5	6.2	0.10	0.221
Rata-rata	134.250	0.085	8.075	34.250	3.625	31.200	6.700	0.100	0.458
SD	9.179	0.027	0.050	0.500	1.887	0.529	0.337	0.008	0.454
RS1	99	0.05	8.2	35	3	28.7	4.6	0.16	0.465
RS2	119	0.05	8	34	5.6	28	5.2	0.16	0.626
RS3	140	0.05	8.6	34	5	28	5.6	0.08	0.607
RS4	129	0.08	8.2	30	10	28.6	6.7	0.07	0.715
Rata-rata	121.750	0.059	8.250	33.250	5.900	28.325	5.525	0.116	0.603
SD	17.424	0.018	0.252	2.217	2.951	0.377	0.885	0.050	0.104

**Tabel 3.** Kriteria kalayakan untuk lokasi budidaya rumput laut sesuai dengan nilai BNSI dan SNI KKP No.01-6492-2010 (Wantasen dan Tamrin, 2012)

Parameter	Kisaran	Optimum
Kecerahan (m)	1-5	>3
Suhu (°C)	20-33	27 -30
Kecamatan arus (cm/det)	5-50	20-40
Pasang surut (cm)	10-150	30-60
Kedalaman (m)	0,33-3	0,60-0,80
pH	6,0-90	7,5-8,0
Salinitas (‰)	15-38	28-34
Oksigen terlarut (mg/l)	1-15	3-8
Nitrat (mg/l)	1,0-3,2	1,5-2,5
Fosfat (mg/l)	0,021-0,1	0,050-0,075

Data kualitas air (Tabel 2) menunjukkan bahwa hampir semua parameter kualitas air di perairan Bantaeng memenuhi kriteria yang dibutuhkan untuk kehidupan dan pertumbuhan rumput laut (Wantasen dan Tamrin, 2012), kecuali parameter fosfat dan nitrat. Kandungan fosfat lebih dari persyaratan pertumbuhan rumput laut yang optimal, sedangkan kandungan nitrat kurang dari kebutuhan rumput laut untuk bertumbuh secara optimal.

Data laju bioakumulasi (Tabel 4) menunjukkan bahwa logam Fe dan Zn mengalami bioakumulasi di dalam tubuh rumput laut yang dipelihara di semua stasiun pengamatan. Akan tetapi logam Cu mengalami depurasi pada stasiun P dan RS serta mengalami bioakumulasi pada stasiun B. Logam Ni juga mengalami depurasi pada stasiun P dan akumulasi pada stasiun B dan RS. Laju akumulasi terhadap Fe terbesar di seluruh stasiun di susul oleh Zn.

**Tabel 4.** Laju bioakumulasi beberapa logam pada rumput laut, *K. alvarezii* (Yaqin, *et al.*, 2014).

Nama stasiun	Fe (mg/kgBK/hari)	Cu (mg/kgBK/hari)	Zn (mg/kgBK/hari)	Ni (mg/kgBK/hari)
<b>B1</b>	0.665	0.009	0.014	-0.002
<b>B2</b>	0.682	0.013	0.007	0.000
<b>B3</b>	0.610	0.022	0.002	0.002
<b>B4</b>	3.013	0.043	0.007	0.012
<b>B5</b>	1.214	0.034	0.005	0.008
<b>Rata-rata</b>	<b>1.237</b>	<b>0.024</b>	<b>0.007</b>	<b>0.004</b>
<b>SD</b>	<b>1.023</b>	<b>0.014</b>	<b>0.004</b>	<b>0.006</b>
<b>P1</b>	1.166	-0.015	0.011	-0.007
<b>P2</b>	0.511	-0.012	0.008	-0.006
<b>P3</b>	0.238	-0.008	0.000	-0.005
<b>P4</b>	0.247	-0.003	0.005	-0.003
<b>P5</b>	0.231	0.002	0.008	-0.006
<b>Rata-rata</b>	<b>0.479</b>	<b>-0.009</b>	<b>0.006</b>	<b>-0.005</b>
<b>SD</b>	<b>0.402</b>	<b>0.007</b>	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>
<b>RS1</b>	0.307	-0.016	0.022	-0.001
<b>RS2</b>	0.122	-0.016	0.047	-0.001
<b>RS3</b>	0.127	-0.016	0.038	0.005
<b>RS4</b>	0.096	-0.016	0.039	0.007
<b>RS5</b>	0.097	-0.016	0.057	0.010
<b>Rata-rata</b>	<b>0.150</b>	<b>-0.016</b>	<b>0.041</b>	<b>0.004</b>
<b>SD</b>	<b>0.089</b>	<b>0.000</b>	<b>0.013</b>	<b>0.005</b>

*Trace metal* yang belum diketahui fungsinya digolongkan sebagai logam non-essensial, sedangkan yang sudah diketahui fungsinya di dalam tubuh organism disebut logam esensial, seperti nikel. Logam-logam ini apabila keberadaannya melebihi baku mutu yang sudah ditentukan maka ia dapat menjadi persoalan di lingkungan perairan karena dapat membahayakan kehidupan biota dan ekosistem perairan (Yaqin, *et al.*, 2014). Camizuli *et al.*, (2014) mendapati bahwa logam yang ada di daerah bekas aktivitas penambangan masih memunyai efek buruk terhadap biota perairan.

Logam yang diukur kadarnya pada penelitian ini adalah logam yang termasuk logam esensial yaitu Fe, Cu, Zn dan Ni. Volesky (2001) membuat klasifikasi logam berdasarkan tingkat resikonya di alam. Kuprum, seng dan nikel dikelompokkan ke dalam logam yang bersiko sedang terhadap lingkungan, sedangkan Fe digolongkan beresiko rendah.

Dari hasil analisis logam dengan alat AAS diketahui bahwa bibit rumput laut yang biasa digunakan oleh nelayan pembudidaya rumput laut telah mengandung baik logam esensial Fe, Cu, dan Ni. Kadar Fe di dalam bibit rumput laut yaitu 0,656 mg/kg BK, sedangkan Cu dan Ni masing-masing yaitu 0,732 dan 0,5095 mg/kg BK. Seng tidak terdeteksi di dalam bibit rumput laut (Gambar 2). Keberadaan beberapa logam pada bibit sangat dimungkinkan karena sumber bibit rumput laut yang dibudidayakan berasal dari teknik vegetatif yang berasal dari perairan di mana petani membudidayakan rumput laut. Bila perairan tempat mengambil bibit terkontaminasi dengan logam, maka bibit rumput laut yang digunakan juga akan terkontaminasi oleh logam.

Setelah dilakukan pemeliharaan selama 45 hari, terjadi akumulasi dan depurasi logam pada rumput laut. Bioakumulasi ini merupakan refleksi dari proses biologis dari rumput laut yang menyerap apa saja yang ada di kolom air baik itu berupa nutrisi untuk kebutuhan hidup ataukah bahan logam seperti Fe, Cu, Zn dan Ni. Depurasi juga merupakan proses biologis untuk mengeluarkan kelebihan logam di dalam tubuh rumput laut atau sebagai konsekuensi dari proses penyeimbangan dan interaksi dengan konsentrasi logam lainnya di dalam dan di luar thallus rumput laut (Andrade, *et al.*, 2006)

Salah satu senyawa yang bertanggung jawab terhadap akumulasi dan depurasi logam pada rumput laut adalah senyawa fitocelatin (Hu & Wu, 1998; Pawlik-Skowrońska *et al.*, 2007; Mellado, *et al.*, 2012), kecuali pada logam arsen (Wood *et al.*, 2011). Fitocelatin mengikat logam dan membentuk kompleks fitocelatin-logam yang disimpan di organel-organel sel seperti vakuola dan kloroplast (Estrella-Gómez *et al.*, 2009). Dengan cara itu maka dampak buruk logam terhadap organisme dapat direduksi (Mendoza-Cózatl, *et al.*, 2006). Fitocelatin merupakan peptida yang mengatur konsentrasi ion-ion logam di jamur, tumbuhan darat dan ganggang atau rumput laut (Cobbett, 2000; Rauser, 1995; Zenk, 1996) dengan berat molekul antara 2 -10 Kd yang disintesis oleh enzim, fitocelatin sintase (Torres *et al.*, 2008). Hu & Wu, (1998) menemukan bahwa keberadaan fitocelatin di dalam rumput laut *Kappaphycus alvarezii* berkorelasi positif dengan konsentrasi logam di dalam thallus rumput laut dan media air. Ketika rumput laut yang tercemar oleh logam dimasukkan ke dalam media yang bersih, maka konsentrasi logam di dalam rumput laut semakin berkurang tetapi konsentrasi fitocelatin tidak mengalami pengurangan (Hu & Wu, 1998).

Laju bioakumulasi yang terukur pada rumput laut dapat dilihat pada Tabel 4 yang menunjukkan bahwa Fe merupakan logam yang diakumulasi oleh rumput laut dengan laju akumulasi yang terbesar. Logam Ni adalah logam dengan laju akumulasi yang rendah, bahkan pada stasiun P terjadi depurasi. Fe juga adalah logam yang paling banyak diakumulasi oleh rumput laut dan Ni adalah yang terendah. Hal ini dimungkinkan karena Fe adalah logam yang paling banyak berperan dalam proses kehidupan rumput laut sebagai bagian dari proses fotosintesis (Rueter *et al.*, 1990). Ni meskipun termasuk sebagai logam esensial tetapi kebutuhan rumput laut terhadap Ni tidak sebanyak kebutuhan terhadap Fe, bahkan Ni pada konsentrasi tertentu dapat mendisfungsi klorofil (Sheoran *et al.*, 1990) yang berakibat pada penurunan pertumbuhannya (Jiang *et al.*, 2014). Di sisi lain ikatan antara Ni dan fitocelatin tidak kuat sehingga mudah dilepaskan di perairan (Hu & Wu, 1998). Hal ini lah yang mungkin terjadi pada rumput laut yang dipelihara di stasiun P, yang mana Ni yang ada di dalam thallus rumput laut mengalami depurasi.

Cu juga mengalami akumulasi dan depurasi. Tidak ada hubungan yang linear antara Cu di perairan dengan akumulasi dan depurasi yang dilakukan oleh rumput laut. Hal ini lebih karena logam Cu di perairan pada saat sampling tidak terefleksikan di dalam rumput laut. Hal yang sama terjadi pada Zn yang menunjukkan perilaku pengakumulasi logam. Akumulasi logam Zn tidak berhubungan secara linear dengan keberadaan Zn di perairan pada saat disampling.

Kandungan Zn dan Cu yang ada pada rumput laut *K. Alvarezii* yang dipelihara di Bantaeng belum melebihi kadar yang diizinkan oleh *European Economic Community* (EEC) (Yaqin, *et al.*, 2009). Kadar Cu yang diukur dari rumput laut berkisar dari 0,307-1,711 ppm atau mg/kg BK, dan kadar Zn yaitu 0,270-1,644 ppm. Kadar maksimum Cu dan Zn yang diperbolehkan(EEC) yaitu 25 ppm.

Rumput laut yang terpapar logam pencemar akan mengalami penurunan berat molekul proteinnya (Ryan, 2010). Penurunan protein ini akan berakibat pada menurunnya kinerja fotosintesis yang pada akhirnya akan menurunkan laju pertumbuhan rumput laut. Eder *et. al.*, (2012) menyebutkan bahwa logam pencemar dapat menyebabkan degenarasi tilakoid, khlorofil a dan protein picobilin yang menyebabkan turunnya proses fotosintesis dan pada akhirnya akan menurunkan pertumbuhannya.

Rumput laut yang dibudidayakan di perairan Bantaeng mempunyai pertumbuhan rata-rata harian 4,47 %/hari (Yaqin, *et al.*, 2014). Nilai pertumbuhan ini termasuk rendah bila dibandingkan dengan termasuk rendah bila dibandingkan dengan pertumbuhan rumput laut, *Kappaphycus alvarezii* yang dibudidayakan di India. Thirumaran and Anantharaman, (2009) menyebutkan bahwa pertumbuhan rumput laut, *K. alvarezii* di Teluk Mannar India, mempunyai laju pertumbuhan 6,11 %/hari. %. Di Brazil rumput laut *K. alvarezii* dapat tumbuh dengan laju pertumbuhan 8,9 % (Paula dan Pereira, 2003). Di Pulau Pari, Jakarta rumput laut mempunyai laju pertumbuhan mencapai 6,11 %/hari (Yulianto dan Mira, 2009).

Rendahnya laju pertumbuhan rumput laut yang dibudidayakan di perairan Bantaeng kemungkinan disebabkan oleh kandungan nitrat yang kurang (Tabel 2 dan 3). Kemungkinan kedua, karena adanya bahan pencemar logam yang sudah melebihi batas baku mutu biota laut. Logam pencemar ini yang mengganggu fotosintesis rumput laut, sehingga rumput laut di perairan Bantaeng pertumbuhannya lebih rendah dibandingkan pertumbuhan rumput laut di daerah-daerah lain (Yaqin, *et al.*, 2014).

Fakta bahwa rumput laut, *K alvarezii* dapat menyerap atau mengakumulasi logam memberi harapan dalam bidang ekotoksikologi untuk digunakan sebagai apa yang disebut *sentinel organism*. Istilah *sentinel organism* seringkali ditukar dengan istilah biomonitor, akan tetapi bukan pada tempatnya untuk mendiskusikan hal itu di makalah ini. Chakraborty dan Owens (2014) mengobservasi bahwa rumput laut lebih bagus digunakan sebagai *sentinel organism* untuk monitoring konsentrasi logam dibandingkan dengan menggunakan konsentrasi logam di media air atau sedimen. Kemampuan rumput laut dalam menyerap logam didukung oleh adanya senyawa peptida fitocelatin yang mengikat logam dalam bentuk kompleks fitocelatin-logam yang disimpan di dalam thallus rumput laut. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa logam menstimulasi konsentrasi fitocelatin (Hu & Wu, 1998; Sáez Avaria, 2014). Fitocelatin memainkan peranan yang signifikan dalam mendetoksifikasi dan menoleransi kontaminasi logam, ketika rumput laut berada di perairan yang tercemar (Morris *et al.*, 1999; Malea *et al.*, 2006). Dengan demikian salah satu karakteristik biologis rumput laut yang dapat digunakan sebagai biomarker yaitu konsentrasi fitocelatin. Untuk mendapatkan efektifitas penggunaan fitocelatin sebagai biomarker perlu dilakukan penelitian yang lebih komprehensif sedemikian sehingga fitocelatin dapat digunakan sebagai biomarker dalam program-program ekotoksikologis pada skala laboratorium maupun lapangan.

Di samping itu fakta kemampuan serap rumput laut terhadap logam juga menginspirasi beberapa penelitian untuk menggunakan rumput laut sebagai biosorben (Kumar, *et al.*, 2007; Kang *et al.*, 2011; Rafiq., *et al.*, 2013; Praveen, *et al.*, 2014). Kumar *et al.*, (2007) membandingkan tiga warna *K. alvarezii* dalam menyerap logam. Mereka menemukan bahwa *K. alvarezii* yang berwarna kuning pucat lebih besar kemampuannya terhadap logam kromium dibandingkan yang berwarna hijau atau coklat. Berbeda dengan Kumar *et al.* (2007), Kang *et*

al. (2011) menggunakan limbah pengolahan rumput laut *K. alvarezii* sebagai biosorben logam kromium. Hasilnya menunjukkan bahwa limbah rumput laut mampu menyerap logam kromium dan daya serapnya meningkat dengan peningkatan konsentrasi logam awal. Akan tetapi daya serap rumput laut terhadap kromium menurun dengan penambahan logam lain yaitu logam Cu dan Cd. Hal sebaliknya ditemukan oleh Rafiq, *et al.* (2013) yang menunjukkan bahwa prosentasi daya serap rumput laut yang ditepungkan menurun dengan peningkatan konsentrasi awal. Praveen *et al.* (2014) menunjukkan bahwa daya serap rumput laut terhadap Pb lebih besar dibandingkan Cd, Cu dan Ni.

### Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan logam di dalam tubuh rumput laut. Logam Fe meningkat dari 0.656 mg/kg BK menjadi 56.555, 14.460, dan 5.740 mg/kg BK pada masing-masing di stasiun B, P, dan RS. Hal yang sama terjadi pada logam Zn, yang mana Zn tidak terdeteksi pada bibit dan terjadi akumulasi logam Zn pada akhir pemeliharaan dengan konsentrasi 0,006, 0,270, 1.664 mg/kg BK pada masing-masing stasiun B, P, dan RS. Logam Cu mengalami akumulasi di stasiun B dari 0,732 ke 1.711 mg/kg BK dan depurasi di Stasiun P dan RS masing-masing dari 0,732 ke 0,307 dan 0 mg/kg BK. Logam Ni terdeteksi di dalam bibit dengan kadar 0.510 mg/kg BK dan meningkat menjadi 0,647 dan 0,630 mg/kg BK pada masing-masing stasiun B dan RS. Akan tetapi Ni mengalami depurasi dari 0.510 mg/kg BK menjadi 0,277 mg/kg BK di stasiun P.

### Daftar Referensi

- Andrade, S., Medina, M. H., Moffett, J. W., & Correa, J. A. 2006. Cadmium-copper antagonism in seaweeds inhabiting coastal areas affected by copper mine waste disposals. *Environmental science & technology*, 40(14), 4382-4387.
- Camizuli, E., Monna, F., Scheifler, R., Amiotte-Suchet, P., Losno, R., Beis, P. Amiotte-Suchet, R. Losno, P. Beis, B. Bohard, C. Chateau, P. Alibert. (2014). Impact of trace metals from past mining on the aquatic ecosystem: A multi-proxy approach in the Morvan (France). *Environmental research*, 134, 410-419.
- Chakraborty, S., & Owens, G. (2014). Metal distributions in seawater, sediment and marine benthic macroalgae from the South Australian coastline. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 1259-1270.
- Cobbett, C., 2000. Phytochelatins and their roles in heavy metals detoxification. *Plant Physiol.* 123, 825–832.
- Dinas Kelautan dan Perikanan. (2012). Data Potensi Perikanan Sulawesi Selatan. Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi-Selatan. Makassar.
- Éder C, S., Roberta de P, M., Alexandra, L., Marcelo, M., Paulo A, H., & Zenilda L, B. 2012. Effects of cadmium on growth, photosynthetic pigments, photosynthetic performance, biochemical parameters and structure of chloroplasts in the agarophyte *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales). *American Journal of Plant Sciences*, 2012.
- Estrella-Gómez, N., Mendoza-Cózatl, D., Moreno-Sánchez, R., González-Mendoza, D., Zapata-Pérez, O., Martínez-Hernández, A., & Santamaría, J. M. (2009). The Pb-hyperaccumulator aquatic fern *Salvinia minima* Baker, responds to Pb 2+ by increasing phytochelatin synthesis via changes in SmPCS expression and in phytochelatin synthase activity. *Aquatic toxicology*, 91(4), 320-328.
- García-Ríos, V., Freile-Pelegrín, Y., Robledo, D., Mendoza-Cózatl, D., Moreno-Sánchez, R., & Gold-Bouchot, G. (2007). Cell wall composition affects Cd 2+ accumulation and intracellular thiol peptides in marine red algae. *Aquatic toxicology*, 81(1), 65-72.
- Hu, S., Wu, M., 1998. Cadmium sequestration in the marine macroalga *Kappaphycus alvarezii*. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 7, 97–104.
- Jiang, Y., Nunez, M., Laverty, K. S., & Quigg, A. (2014). Coupled effect of silicate and nickel on the growth and lipid production in the diatom *Nitzschia perspicua*. *Journal of Applied Phycology*, 1-12

- Kang, O. L., Ramli, N., Said, M., Ahmad, M., Yasir, S. M., & Ariff, A. (2011). Kappaphycus alvarezii waste biomass: A potential biosorbent for chromium ions removal. *Journal of Environmental Sciences*, 23(6), 918-922.
- Kumar, K. S., Ganesan, K., & Rao, P. S. (2007). Phycoremediation of heavy metals by the three-color forms of Kappaphycus alvarezii. *Journal of hazardous materials*, 143(1), 590-592.
- Malea, P., Rijstenbil, J.W., Haritonidis, S., 2006. Effects of cadmium, zinc and nitrogen status on non-protein thiols in the macroalgae *Enteromorpha* spp. from the Scheldt Estuary (SW Netherlands, Belgium) and Thermaikos Gulf (N Aegean Sea, Greece). *Mar. Environ. Res.* 62, 45–60.
- Mellado, M., Contreras, R. A., González, A., Dennett, G., & Moenne, A. (2012). Copper-induced synthesis of ascorbate, glutathione and phytochelatin in the marine alga *Ulva compressa* (Chlorophyta). *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, 102-108.
- Mendoza-Cózatl, D., Rodríguez-Zavala, J., Rodríguez-Enríquez, S., Mendoza-Hernandez, G., Briones-Gallardo, G., Moreno-Sánchez, R., 2006. Phytochelatin–cadmium–sulfide high-molecular-mass complexes of *Euglena gracilis*. *FEBS J.* 273, 5703–5713.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor : 115 tahun 2003.
- Morris, C.A., Nicolaus, B., Sampson, V., Harwood, J.L., Kille, P., 1999. Identification and characterization of a recombinant metallothionein protein from a marine alga *Fucus vesiculosus*. *Biochem. J.* 338, 553–560.
- Paula, E.J., Pereira, R.T.L., 2003. Factors affecting growth rates of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva (Rhodophyta, Solieraceae) in subtropical waters of Sao Paulo, Brazil. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 17, 381–388.
- Pawlik-Skowrońska, B., Pirszel, J., & Brown, M. T. (2007). Concentrations of phytochelatin and glutathione found in natural assemblages of seaweeds depend on species and metal concentrations of the habitat. *Aquatic Toxicology*, 83(3), 190-199.
- Praveen, R. S., & Vijayaraghavan, K. (2014). Optimization of Cu (II), Ni (II), Cd (II) and Pb (II) biosorption by red marine alga *Kappaphycus alvarezii*. *Desalination and Water Treatment*, (ahead-of-print), 1-9.
- Rafiq, S., Ali, M. K., Sakari, M., Sulaiman, J., & Yasir, S. M. (2013). Biosorption of Toxic Heavy Metals by Unmodified Marine Red Alga (*Kappaphycus alvarezii*): Kinetics and Isotherm Studies. *Int. J. Environ. Bioener*, 7(2), 91-107.
- Rueter, J. G., Ohki, K., & Fujita, Y. (1990). The Effect of Iron Nutrition on Photosynthesis and Nitrogen Fixation in Cultures of *Trichodesmium* (cyanophyceae) 1. *Journal of Phycology*, 26(1), 30-35.
- Ryan, S. (2010). An investigation into the biochemical effects of heavy metal exposure on seaweeds (Doctoral dissertation, Waterford Institute of Technology).
- Sáez Avaria, C. (2014). Physiological, biochemical, and molecular responses to copper stress in different strains of the model brown alga *Ectocarpus siliculosus*.
- Sheoran, I. S., Singal, H. R., & Singh, R. (1990). Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, 23(3), 345-351.
- Thirumaran, G and Anantharaman, P. 2009. Daily Growth Rate of Field Farming Seaweed *Kappaphycus alvarezii*. (Doty) Doty ex P. Silva in Vellar Estuary. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 1 (3): 144-153.
- Torres, M.A., Barros, M.P., Campos, S.C.G., Pinto, E., Rajamani, Sayre, R.T., Colepicolo, P., 2008. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 71,1–15.
- Volesky, B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, 59(2), 203-216.
- Wang, Z., Wang, X., & Ke, C. (2014). Bioaccumulation of trace metals by the live macroalga *Gracilaria lemaneiformis*. *Journal of Applied Phycology*, 26(4), 1889-1897.
- Wantasen, ASj dan Tamrin. 2012. Analisis lokasi budidaya rumput di perairan teluk Dodinga Kabupaten Halmahera Barat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*. VIII-1; 23-26.
- Wood, B. A., Miyashita, S., Kaise, T., Raab, A., Meharg, A. A., & Feldmann, J. (2011). Arsenic is not stored as arsenite–phytochelatin complexes in the seaweeds *Fucus spiralis* and *Hizikia fusiforme*. *Environmental Chemistry*, 8(1), 30-43.

- Yaqin K, Fachruddin L, Suwarni, Umar M.T, Rahim SR. 2014. Inovasi proteksi dan pelestarian lingkungan dalam peningkatan produksi budidaya rumput laut. Laporan Penelitian. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Yaqin, K., Burhanddin, AI., dan Samad W., 2009. Kajian Keanekaragaman spesies rumput laut di zona litoral wilayah perairan Sulawesi Selatan. Laporan Penelitian. LPPM, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Yulianto, K dan Mira, S. 2009. Budidaya makro algae *kappaphycus alvarezii* (doty) secara vertikal dan gejala penyakit "ice-ice" di perairan pulau pari. Oseanologi dan limnologi di indonesia 35(3): 323-332.
- Zenk, M., 1996. Heavy metal detoxification in higher plants—review. Gene 179, 21–30.