

## APLIKASI MIKROSIMBIONS SPONS LAUT SEBAGAI MATERIAL DALAM METODE BIOREMEDIASI TOKSISITAS LOGAM BERAT

Ismail Marzuki\*<sup>1)</sup>, Sinardi<sup>1)</sup>, Asmeati<sup>2)</sup>, Sattar Yunus<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Fajar, Makassar, Sulawesi Selatan

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Fajar, Makassar, Sulawesi Selatan

<sup>3)</sup> Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Sulawesi Selatan

### ABSTRACT

The marine environment is very vulnerable to being polluted by various types of heavy metals due to human activities. The purpose this research is to detoxify the toxicity of Lead, Mercury and Arsenic metals in bioremediation methods using sea sponge microsymbiont. The method of bioremediation of heavy metal toxicity begins: isolation, culture of *Hyrtios erectus* sponge isolates, suspension preparations, 24-hour incubation. Heavy metal solution Pb, Hg, As concentrations of 100 ppm were interacted with sponge microsymbiont suspension with a volume ratio of 1: 1, within 1 to 15 days. The results of interaction are extracted, concentrated, acidified, concentration analysis using AAS. Measured absorption is extrapolated graph form of the regression equation. Maximum bioremediation results of heavy metals by PS symbionate isolate PS1 strain SLG510A3-8 of Pb = 87.50%; Hg = 79.03% and As = 64.04%, while PS2 strain RCH2 isolate for Pb = 88.24%; Hg = 82.20%; As = 64.69%. It was concluded that PS2 strain RCH2 isolates tended to be stronger in bioremediating Pb, Hg and As heavy metals than PS1 strain SLG510A3-8 isolates.

**Keywords:** Remediation, toxicity, heavy metals, microsymbiont, sponges

### 1. PENDAHULUAN

Eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi umumnya menghasilkan masalah baru yakni limbah sludge yang mengandung komponen hidrokarbon alifatik, aromatik dan komponen logam berat. Ketiga jenis komponen tersebut merupakan kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) karena bersifat toksik, karsinogenik dan bahkan mutagenik [1]. Komponen B3 ini berpotensi kuat memberi dampak buruk terhadap ekosistem laut khususnya biota laut, bahkan masalah kesehatan terhadap manusia jika terpapar baik langsung maupun tidak langsung karena siklus rantai makanan, sehingga penanganan limbah sludge harus dikelola dengan baik. Teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan biota (spons laut) direkomendasikan dapat mereduksi sifat toksik komponen B3 melalui aplikasi biodegradasi untuk komponen hidrokarbon jenis polisiklik aromatik (PAH) dan metode biosorpsi untuk komponen logam berat [1,2] Metode biosorpsi logam berat menggunakan mikrosimbion spons dipandang tepat untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat dari kegiatan eksplorasi minyak bumi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan penelusuran berbagai jenis mikroorganisme yang bersimbiosis dengan spons laut dan merancang kombinasi mikroorganisme dalam bentuk formulasi konsorsium mikroba dengan fungsi biosorpsi dan reduksi toksisitas logam berat, [3,4].

Identifikasi mikrosimbion spons untuk tujuan aplikasi dalam metode biodegradasi dan biosorpsi atau sering disebut bioremediasi untuk destruksi struktur toksik, karsinogenik dan mutagenik PAH dan logam berat belum banyak dilakukan, padahal kedua jenis cemaran ini selalu ada dalam bentuk sludge pada setiap limbah hasil kegiatan pengolahan minyak bumi. Limbah sludge minyak bumi adalah masalah pelik yang harus ditangani dengan baik, khususnya: 1) penyimpanan sludge memerlukan tempat, kemasan/wadah dan perlakuan khusus serta biaya pengolahannya sangat mahal; 2) Sludge minyak bumi mengandung PAH dan logam berat dengan sifat toksik tinggi, karsinogenik dan mutagenik yang sangat berbahaya; 3) Metode pengolahan sludge minyak bumi dewasa ini dilakukan secara fisika (hanya memperlambat sebaran pencemaran), cara kimia dengan bahan tertentu spesifik memerlukan biaya sangat mahal dan cara biologi merombak dengan menghasilkan komponen toksik yang baru, [5]. Meskipun demikian, penanganan sludge harus dilakukan agar dapat meminimalkan pencemaran khususnya di lingkungan laut. Pada sisi yang lain kekayaan hayati spons laut melimpah membutuhkan sentuhan teknologi dalam pemanfaatannya agar memiliki kontribusi maksimal untuk kehidupan dan keberlanjutan kualitas ekosistem laut, [6,7].

Spons termasuk hewan berpori dengan sifat *filter feeder*, merupakan habitat mikroorganisme untuk bersarang dengan peran sebagai sumber makanan dan hidup bersimbion baik secara inter maupun intra selular. Banyaknya spons yang hidup pada terumbu karang menyebabkan morfologi spons bersimbion dengan

<sup>1)</sup> Korespondensi penulis: Ismail Marzuki, Telp 081241011873, ismailmz@unifa.ac.id

mikroorganisme seperti bakteri, 8,9]. Diperkirakan ada sekitar 15.000 spesies spons hidup tersebar di perairan laut dan danau, namun yang berhasil diisolasi khusus spons yang berasal dari Kepulauan Spermonde baru sekitar 830 jenis. Boimassa spons mencapai 40% juga diduga kuat memiliki kemampuan dalam degradasi PAH dan reduksi toksisitas logam berat dalam metode biosorpsi. Spons *Hyrtios erectus* adalah salah satu jenis spons yang banyak terdapat di sekitar gugusan kepulauan Spermonde. Merupakan jenis spons family Thorectidae yang hidup pada perairan dangkal, jernih dan kurang tahan arus laut dan gelombang, 10,11].

## 2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan adalah Spektrofotometri Serapan Atom (SSA); seperangkat alat gelas; shaker inkubator; autoclave; neraca digital dan enkas, sedangkan bahan yang dipakai adalah dua jenis isolat bakteri yang merupakan mikrosimbion spons *Hyrtios erectus*. Isolat PS1 adalah *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8 dan isolat PS2 adalah *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2);  $Pb(NO_3)_2$ ;  $HgCl_2$ ;  $As_2O_3$  HCl; isolat; NaCl 0,9 % fisiologis; Aquabides; Air laut steril; Nutrient agar; kapas; plastik wrap; Aluminium foil; alkohol.

Preparasi sampel dilakukan dengan prosedur: Bakteri simbiosis diisolasi dari spesies spons *Hyrtios erectus*. Isolat PS 1 dan PS 2 diperbanyak dengan metode Kultur isolat pada media Nutrient Agar. Isolat simbiosis spons hasil kultur, dikonversi ke bentuk suspensi dengan menambahkan 2 ml NaCl 0.9 % fisiologis, kemudian dikocok. Suspensi mikrosimbion PS 1 dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan kemudian di cukupkan volumenya hingga 150 ml dengan menggunakan NaCl 0.9 % fisiologis. Dipipet masing-masing 10 ml suspensi ke dalam 9 pial (setiap logam 3 variasi kontak) kemudian diinkubasi selama 1 x 24 jam. Dimasukkan 5 ml logam berat (Pb) konsentrasi 100 ppm, pada pial nomor 1 – 3; Hg (100 ppm) dalam pial nomor 4 -6 dan As dalam pial nomor 7 – 9, menunjukkan untuk masing-masing logam, pial pertama untuk kontak 5 hari, pial kedua untuk kontak 10 hari dan pial ketiga untuk kontak 15 hari. Setiap pial dishaker inkubator. Setelah masa kontak dicapai, sampel media biosorpsi disaring menggunakan kertas saring whattman 41. Filtrat diasamkan dengan asam klorida (pH 3-4), kemudian dipekatkan. Konsentrasi logam yang tidak di biosorpsi oleh bakteri simbiosis diukur serapannya menggunakan AAS. Perlakuan yang sama untuk isolat PS 2 terhadap logam Pb, Hg dan As, [12,13].

Pembuatan Kurva Kalibrasi Logam yang akan ditentukan konsentrasinya dengan cara dibuat larutan standar 100 ppm logam Pb sebanyak 100 ml. Larutan tersebut dipipet sebanyak 1 ml, 5 ml, 15 ml, 20 ml, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml lalu dicukupkan dengan air suling hingga batas yang diperoleh dengan konsentrasi 1 ppm, 5 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Diukur dengan menggunakan SSA pada  $\lambda_{maks}$  untuk Pb, yakni 224,6 nm. Prosedur yang sama dilakukan pada logam Hg pada panjang gelombang  $\lambda_{maks}$  Hg, yakni 357,3 nm dan logam As pada  $\lambda_{maks}$ , yakni 193,7 nm.

Setiap sampel diukur serapannya dengan instrument Spektrofotometri Serapan Atom pada panjang gelombang maksimum yang sesuai dengan logam yang akan ditentukan dalam satuan nm. Nilai absorban yang diperoleh harus berada dalam rentang nilai kurva kalibrasi larutan baku sehingga konsentrasi logam dalam sampel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan garis regresinya dan kadar dapat dihitung dari konsentrasi tersebut. Tabel berikut Tabel 1, berikut menunjukkan matriks yang didesain dalam bentuk kontak antara mikrosimbion dari spons *Hyrtios erectus* terhadap logam berat uji dimana terdapat variasi waktu kontak yakni 5 hari, 10 hari dan 15 hari, pH media remediasi pada kisaran pH 7, dilakukan pada suhu kamar dan semua perlakuan yang dikerjakan dalam keadaan terisolasi.

Tabel 1. Matriks rancangan Interaksi Mikrosimbion Spons *Hyrtios erectus* Terhadap Logam Berat Uji

Jenis Isolat	Waktu Kontak (hari)								
	Logam Timbal (Pb)			Logam Merkuri (Hg)			Logam Arsen (As)		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
PS1	PS1: Pb5	PS 1: Pb10	PS 1: Pb15	PS 1: Hg5	PS 1: Hg10	PS 1: Hg15	PS 1: As5	PS 1: As10	PS 1: As15
PS 2	PS 2: Pb5	PS 2: Pb10	PS 2: Pb15	PS 2: Hg5	PS 2: Hg10	PS 2: Hg15	PS 2: As5	PS 2: As10	PS 2: As15

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Remediasi daya racun logam berat penting dilakukan mengingat bahwa beberapa jenis logam berat diketahui berbahaya bagi kesehatan manusia. Paparan logam berat bagi manusia dapat memicu terjadinya gangguan pada system metabolisme tubuh sedangkan jika logam berat tersebut terkontaminasi dalam lingkungan, misalnya perairan, menimbulkan dampak negatif bagi kehidupan akuatik didalamnya. Remediasi logam berat dapat dilakukan dengan beberapa metode salah satu diantaranya adalah memanfaatkan bahan alam misalnya bakteri, jamur atau fungi dalam metode bioremediasi bertujuan untuk mengabsorpsi

konsentrasi ion logam sehingga daya racun dari logam tersebut turun, [14,15]. Beberapa jenis logam berat dapat diabsorpsi dengan menggunakan mikroorganisme (bakteri) diantaranya logam Kromium (Cr), Timbal (Pb), Arsen (As), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Merkuri (Hg) dan logam berat lainnya [16]. Riset yang telah dilakukan terkait dengan remediasi toksisitas logam berat Pb, Hg dan As menggunakan mikroorganisme yang diisolasi dari spons laut. Data hasil riset yang dilakukan dengan melihat beberapa parameter diantaranya deret Standar logam berat uji sebagai berikut:

Tabel 2. Bioremediasi Toksisitas Logam Berat dan Persamaan Regresi berdasarkan Nilai Absorban

Larutan Logam Timbal (Pb)		Larutan Logam Merkuri (Hg)		Larutan Logam Arsen (As)	
Konsentrasi (ppm)	Absorban	Konsentrasi (ppm)	Absorban	Konsentrasi (ppm)	Absorban
1	0.01138	5	0.0058	0.5	0.016582
5	0.01410	10	0.0089	1	0.030532
10	0.01682	15	0.0120	2	0.060670
15	0.01954	20	0.0151	3	0.090295
20	0.02226	25	0.0182	5	0.152932
Nilai R <sup>2</sup>	0,9983	0,999		0,9657	
P. Regresi	Y = 0,0301X ± 0,0003	Y = 0,0006X ± 0,0028		Y = 0,0003X ± 0,0005	

Data yang tampak pada Tabel 2, di atas menunjukkan bahwa konsentrasi setiap logam yang terukur berbanding lurus dengan nilai absorban spesifik untuk setiap logam, dimana data tersebut diperkuat dengan persamaan regresi dan nilai kerelasi (R<sup>2</sup>) pengukuran yang mendekati satu menunjukkan bahwa satu-satunya komponen yang berpengaruh terhadap nilai absorban adalah konsentrasi dari setiap logam yang diukur pada  $\lambda_{maks}$  untuk setiap logam yang sesuai. Sesuai dengan persamaan regresi tersebut maka konsentrasi logam dapat ditentukan dengan mengekstrapolasikan nilai absorbansi hasil pengukuran berdasarkan waktu kontak ke dalam persamaan regresi sehingga diperoleh konsentrasi logam yang diremediasi. Penurunan konsentrasi logam diterjemahkan sebagai kadar logam yang diabsorpsi oleh mikrosimbion spons yang digunakan sebagai biomaterial di ukur sebagai tingkat remediasi sebagaimana tampak dalam Tabel 3, 4 dan 5, berikut:

Tabel 3. Kinerja Mikrosimbion Spons *Hyrtios erectus* Terhadap Logam Timbal Berdasarkan Waktu Kontak

Waktu Kontak	Sampel Isolat Uji	Absorban	Kadar Pb (ppm)	Tingkat Remediasi (%)
5 Hari	PS1: Pb5	0.0043	13.97	86.03
	PS 2: Pb5	0.0046	15.07	84.93
10 Hari	PS 1: Pb10	0.0045	14.71	86.29
	PS 2: Pb10	0.0047	15.44	85.56
15 Hari	PS 1: Pb15	0.0039	12.5	87.50
	PS 2: Pb15	0.0037	11.76	88.24

Tabel 3, di atas menunjukkan bahwa tingkat bioremediasi ion logam Pb menggunakan mikrosimbion spons *Hyrtios erectus* maksimum sebesar 88,24 % oleh PS 2 strain RCH2 dan 87,50 % oleh PS 1 strain SLG510A3-8, keduanya dicapai pada masa kontak 15 hari. Secara spesifik, tampak bahwa kinerja mikrosimbion PS 2 strain RCH2 lebih kuat dalam biosorpsi ion Pb dibandingkan PS 1 strain SLG510A3-8.

Tabel 4. Kinerja Mikrosimbion Spons *Hyrtios erectus* Terhadap Logam Merkuri Berdasarkan Waktu Kontak

Waktu Kontak	Sampel Isolat Uji	Absorban	Kadar Hg (ppm)	Tingkat Remediasi (%)
5 Hari	PS1: Hg5	0.0174	23.71	76.29
	PS 2: Hg5	0.0163	21.94	78.06
10 Hari	PS 1: Hg10	0.0161	21.61	78.39

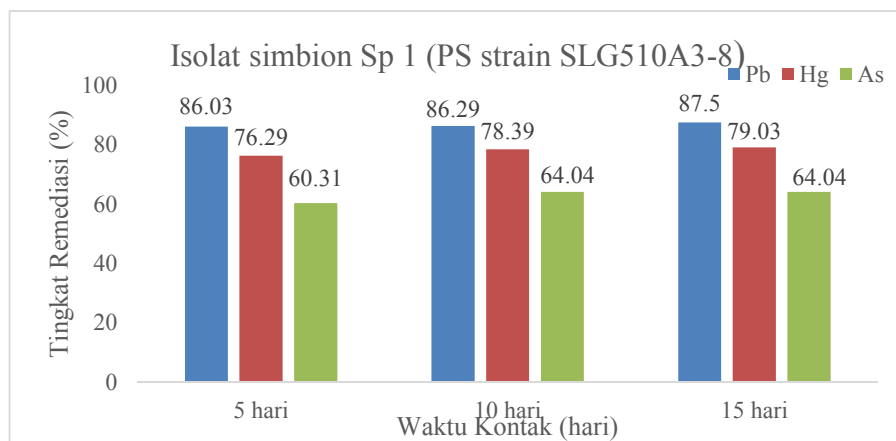
	PS 2: Hg10	0.0165	23.19	79.61
15 Hari	PS 1: Hg15	0.0157	20.97	79.03
	PS 2: Hg15	0.0138	17.9	82.1

Tingkat bioremediasi mikrosimbion spons *Hyrtios erectus* terhadap logam Hg relatif sama dengan remediasi logam Pb, yakni pada kisaran 82,10 % oleh PS 2 strain RCH2 dan 79,03 % oleh PS 1 strain SLG510A3-8, keduanya dicapai pada masa kontak 15 hari. Secara spesifik, tampak bahwa kinerja mikrosimbion PS 2 strain RCH2 lebih kuat dalam biosorpsi ion Hg dibandingkan PS 1 strain SLG510A3-8.

Tabel 5. Kinerja Mikrosimbion Spons *Hyrtios erectus* Terhadap Logam Arsen Berdasarkan Waktu Kontak

Waktu Kontak	Sampel Isolat Uji	Absorban	Kadar As (ppm)	Tingkat Remediasi (%)
5 Hari	PS1: As5	0.0603	39.69	60.31
	PS2: As5	0.063	41.45	58.55
10 Hari	PS1: As10	0.0547	35.96	64.04
	PS2: As10	0.0593	39.04	60.99
15 Hari	PS1: As15	0.0547	35.96	64.04
	PS2: As15	0.0537	35.31	64.69

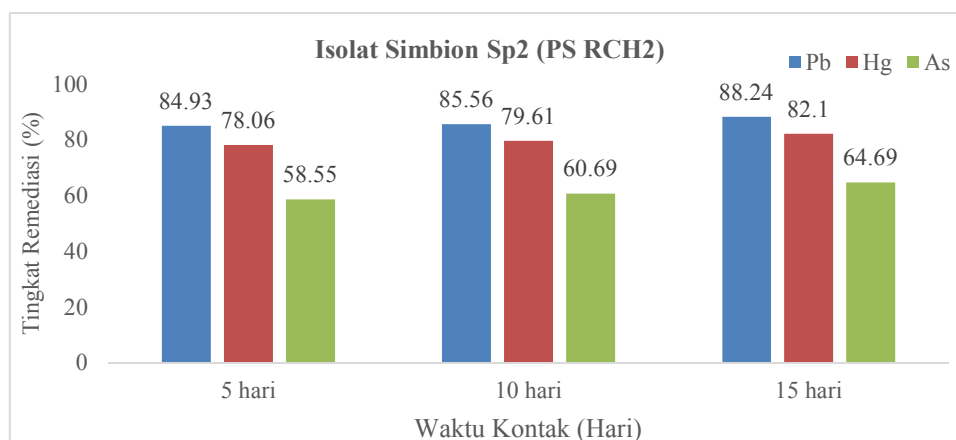
Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa tingkat bioremediasi mikrosimbion spons *Hyrtios erectus* terhadap logam As relatif lebih lemah dibandingkan terhadap logam Pb dan Hg. Nilai bioremediasi logam As hanya pada kisaran 64,69 % oleh PS 2 strain RCH2 dan 64,04 % oleh PS 1 strain SLG510A3-8, meskipun keduanya dicapai pada masa kontak 15 hari. Secara spesifik, tampak bahwa kinerja mikrosimbion PS 2 strain RCH2 relatif lebih kuat dalam biosorpsi ion As dibandingkan PS 1 strain SLG510A3-8, namun secara keseluruhan menunjukkan bahwa tingkat remediasi spons *Hyrtios erectus* terhadap tiga macam logam uji menunjukkan urutan  $Pb \geq Hg > As$ , dimana perlakuan dilakukan pada kondisi sama [17]. Perbedaan tingkat bioremediasi mikrosimbion spons terhadap logam berat dengan rinci dapat dilihat pada Gambar 1, berikut:



Gambar 1. Tingkat Remediasi Logam Berat menggunakan Mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8

Gambar 1, menunjukkan perbedaan tingkat bioremediasi terhadap suatu logam berat oleh jenis mikrosimbion spons. Tiga jenis logam berat uji yang digunakan dengan menggunakan mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8 memperlihatkan tingkat remediasi tertinggi terhadap logam Pb, kemudian Hg dan disusul As. Adanya perbedaan tingkat bioremediasi suatu mikroorganisme terhadap jenis logam berat tertentu khususnya mikrosimbion spons ditentukan oleh beberapa faktor terkait dengan jenis logam berat, misalnya faktor substrak logam berat seperti nilai afinitas, ukuran ion, tingkat oksidasi, jari-jari dan tingkat toksisitas ion logam berat, sedangkan faktor mikrosimbion yang bertindak sebagai remediator atau

enzim misalnya jumlah sel, jenis spons sumber mikrosimbion, kemampuan sel beradaptasi dan ukuran sel, [18]. Tingkat bioremediasi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan remediasi seperti pH media, suhu, ada tidaknya nutrient, agitasi, waktu interaksi dan faktor lainnya, [19,20].



Gambar 2. Tingkat Remediasi Logam Berat menggunakan Mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2

Penggunaan mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 yang juga diisolasi dari spons *Hyrtios erectus* juga memperlihatkan tingkat bioremediasi terhadap tiga jenis logam uji tertinggi untuk ion logam Pb, kemudian Hg dan As, namun jika dibandingkan antara kedua jenis isolat yang digunakan disimpulkan mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 lebih kuat dalam mereduksi toksisitas logam berat uji (Pb, Hg, As) dibandingkan apabila menggunakan mikrosimbion *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8, meskipun kedua mikrosimbion tersebut diisolasi dari spons yang sama, yakni *Hyrtios erectus* yang diperoleh dari Pantai sekitar Pulau Kodingareng Keke.

#### 4. KESIMPULAN

Sesuai capaian penelitian, disimpulkan bahwa:

1. Isolat *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8 dan *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 diisolasi dari spons *Hyrtios erectus* yang diperoleh dari Pantai sekitar Pulau Kodingareng Keke Gugusan kepulauan Spermonde dapat meremediasi toksisitas logam berat Timbal (Pb), Merkury (Hg) dan (Arsen) As;
2. Tingkat bioremediasi *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8 terhadap ion logam berat terbesar terhadap ion Timbal (Pb) = 87,50 %; Merkury (Hg) = 79,03 % dan Arsen (As) = 64,04 %; ketiganya dicapai pada masa kontak 15 hari, sedangkan *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 berturut-turut ion Pb = 88,24 %; Hg = 82,20 % dan As = 64,69 %, juga dicapai pada masa kontak 15 hari;
3. Urutan tingkat bioremediasi logam berat uji oleh mikrosimbion spons *Hyrtios erectus* untuk isolat *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8 dan *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 adalah  $Pb \geq Hg > As$ ; sedangkan kekuatan bioremediasi untuk isolat *Pseudomonas stutzeri* strain RCH2 relatif lebih tinggi dibandingkan isolat *Pseudomonas stutzeri* strain SLG510A3-8.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marzuki, I., Hadijda, S.I., Dali, S., Hasnah, N., "Study Biodegradation of Aromatics Pyrene Using Bacterial Isolates from the Sea and micro symbionts Sponges", International Journal of Applied Chemistry, Vol. 13, No. 3, pp. 707-720, Juli 2017.
- [2] Lydia, M., Alfian, N., Tjodi, H., Nicole, de, V., "Essential Metal Zn in Sponge *Callyspongia aerizusa* from Spermonde Archipelago", Advances in Biological Chemistry Journal, Vol. 4, No.6, pp. 86-90, September 2014,
- [3] Acevedo, Francisca, Leticia Pizzul, María del Pilar Castilloc, Raphael Cuevas, María, C. Diez. "Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the Chilean white-rot fungus *Anthracophyllum discolor*", Journal of Hazardous Materials, Vol. 185, pp. 212-219, 2011
- [4] Shama. S.A., M.E. Moustafa, M.A. Gad., "Removal of heavy metals  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  and  $Cd^{2+}$  From Aqueous Solutins by Using *Eichornia Crassipes*", Journal Electrochimica Acta, Vol. 28, No. 2, pp. 125-133, 2010
- [5] Pawar, R. P., Mohammad, R. A. S. Al-Tawakal., "Marine sponges as Bioindicator species of Environmental Stress at Uran (Navi Mumbai), west coast of India", American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, Vol. 11, No. 3, pp. 29-37, 2017.

- [6] Marzuki, I., Eksplorasi Spons Indonesia: Seputar Kepulauan Spermonde, Makassar, Nas Media Pustaka, 2018
- [7] White, R. J., Patel, J., Ottesen, A., Arce, G., Blackwelder, P., Lopez, V. J., "Pyrosequencing of Bacterial Symbionts within Axinellacorrugata Sponges: Diversity and Seasonal Variability", Journal PLoS ONE, Vol.7, No. 6, pp. 1-12, 2012
- [9] Marzuki, I., Noor, A., Djide, N.M., La Nafie, N., "The potensi biodegradation hydrocarbons of petroleum sludge Waste by cell biomassa sponge *Callyspongia sp*", Journal Marina Chimica Acta, Vol. 16, No. 2, pp. 11-20, Oktober 2015
- [10] Obire, O., Akinde, S.B., "In-situ physic-chemical properties of the deep Atlantic Ocean water Colum and implications on heterotrophic bacterial distribution in the guff of Guines", Journal of Advances in applied Science Research, Vol. 2, No. 2, pp. 470-482, 2011
- [11] Marzuki, I., Noor, A., Djide, N.M., La Nafie, N., "Microsymbiont and Morphological Phenotype Analysis Marine Sponge Biomass from Melawai Beach, Balikpapan, East Kalimantan", Journal Marina Chimica Acta, Vol. 17, No. 1, pp. 8-15, 2016.
- [12] V. Vaezzadeh, M. P. Zakaria, C. W. Bong, N. Masood, S. Mohsen Magam, and S. Alkhadher, "Mangrove Oyster (*Crassostrea belcheri*) as a Biomonitor Species for Bioavailability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Sediment of the West Coast of Peninsular Malaysia", Polycycl. Aromat. Compd., Vol. 66, No. 3, pp. 1-16, 2017
- [13] Marzuki, I., Noor, A., Djide, N.M., La Nafie, N., "Molecular characterization of gene 16S rRNA micro symbionts in sponge at Melawai Beach, East Kalimantan", Journal Marina Chimica Acta, Vol. 16, No. 1, pp. 38-46, April 2015
- [14] Syakti, D. A., Yani, M., Hidayati, V.N., Siregar, S.A. Doumeng, P., I.M. Sudiana, M., "The Bioremediation potential of hydrocarbonoclastic bacteria isolated from a Mangrove Contaminated by Petroleum Hydrocarbons on the Cilacap Coast, Indonesia", Journal Bioremediation, Vol. 17. No. 1, pp. 11-20, August., 2013
- [15] Hadija, E. I., La Nafie, N., Dali, S., "Isolation and Characterization of Bacteria Degrading Pyrene from Port Paotere, Makassar, South Sulawesi", Int. Journal Marina Chimica Acta, Vol.17, No. 1, pp. 16-22, April 2016
- [16] Netty, S., Alfian, N., Nunuk, S., Nicole, de, V., "A preliminary Effort to assign Sponge (*Callyspongia sp*) as trace metal biomonitor for Pb, Cd, Zn, and Cr, an enviromental persfective in hative gulf water Ambon", Advances in Biological Chemistry Journal, Vol. 3, No. 4, pp. 549-552, 2014
- [17] Marzuki, I., Aplikasi Mikrosimbion Spons Laut Dalam Remediasi Lingkungan, Makassar, CV.Tohar Media, 2018
- [18] Zhou, Y., Xia, S., Zhang, Z., Zhang, J., & Hermanowicz, S. W., "Associated Adsorption Characteristics of Pb (II) and Zn (II) by a Novel Biosorbent Extracted from Waste-Activated Sludge", Environ. Eng, Vol. 17, No. 2, pp. 1-7, 2011
- [19] Ziarati, P., Moshiri, I. M., & Sadeghi, P., "Bio-adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions by Natural and Modified non-living Roots of Wild *Scorzonera incisa* DC. Sci Discov", Vol. 1, No. 99, pp. 1-8, 2017
- [20] Marzuki, I., "Analisis Kromium Heksavalen dan Nikel Terlarut dalam Limbah Cair Area Pertambangan PT. Vale Tbl, Soroako-Indonesia". Jurnal Chemica, Vol. 17, No.2, pp. 1-11, 2016.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DRPM Ristekdikti yang telah menyediakan dana penelitian dalam skema Penelitian Terapan tahun 2019, sehingga penelitian dapat dilaksanakan dan publikasi artikel dengan luaran prosiding sebagai pemenuhan salah satu capaian dari riset ini.