

## Pengaruh Penggunaan Sumber Silika Berbeda Terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Biomassa Diatom *Skeletonema* sp. (Bacillariophyceae)

*Effect of Different Silica Sources on the Growth and Biomass Productivity of Diatom Skeletonema sp. (Bacillariophyceae)*

Indrayani\*, Program Studi Pendidikan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Makassar,  
email: indrayani@unm.ac.id

Haslianti, Jurusan Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Halu Oleo, email:  
asi.haslianti@yahoo.co.id

Asmariyani, Laboratorium Pengujian, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Halu Oleo, email: asma.riani\_fish06@yahoo.com

Ardiansyah, Jurusan Budidaya Perikanan, Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, email:  
ardi\_kimsan@yahoo.com

\*Penulis Korespondensi: indrayani@unm.ac.id

### Abstrak

Pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga khususnya diatom (Bacillariophyceae) sangat dipengaruhi oleh keberadaan silika sebagai penyusun dinding sel (frustule). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan silika yang berbeda terhadap pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga laut *Skeletonema* sp. Mikroalga *Skeletonema* sp. dikultur menggunakan media F/2 dengan sumber silikat yang berbeda yakni Sodium Metasilicate Powder (Merck), Sodium silicate solution PA (Merck) dan waterglass silikat Teknis pada salinitas 32 ppt, suhu kamar, siklus gelap dan terang 12jam:12 jam selama dua minggu dengan batch mode (in triplicates). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Skeletonema* sp. tumbuh baik pada semua jenis silika yang digunakan. Terdapat perbedaan yang signifikan antara laju pertumbuhan spesifik (LPS) waterglass silika dengan silika solution ( $P=0.018$ ) serta antara Sodium silika powder dengan silika solution ( $P=0.024$ ) namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara waterglass silika dan silika powder ( $P=0.560$ ). LPS tertinggi diperoleh pada penggunaan waterglass silika ( $0,405\pm 0,043d^{-1}$ ) dan terendah pada penggunaan silika solution ( $0,290\pm 0,037d^{-1}$ ). Biomass yield antara masing-masing media kultur tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $P=0,770$ ). Biomass yield berkisar antara  $0,60-0,62 g.L^{-1}$ . Terdapat perbedaan yang signifikan pada produktivitas biomassa antara masing-masing perlakuan ( $P=0.023$ ). Produktivitas biomassa tertinggi diperoleh pada penggunaan waterglass silika ( $0,252\pm 0,033 g.L^{-1}.d^{-1}$ ) dan terendah pada penggunaan silika solution ( $0,232\pm 0,015g.L^{-1}.d^{-1}$ ). Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan waterglass silika memberikan pertumbuhan dan produktivitas biomassa tertinggi. Selain itu waterglass silika jauh lebih murah sehingga lebih ekonomis.

**Kata Kunci:** diatom, *Skeletonema* sp., silika, pertumbuhan

### Abstract

*Growth and productivity of microalgae biomass, especially diatoms (Bacillariophyceae) are strongly influenced by the presence of silica as a constituent of cell walls (frustule). This study aims to determine the use of different silica sources on the growth and biomass productivity of Skeletonema sp. Microalga Skeletonema sp. cultured using f/2 medium with different silicate sources namely Sodium Metasilicate Powder (Merck), Sodium silicate solution PA (Merck) and Technical silicate waterglass at salinity 32 ppt, ambient room*

temperature, 12 hours dark and 12 hours light cycles for two weeks in batch modes (in triplicates). The results showed that the *Skeletonema* sp. grows well on all types of silicate used. Statistical analysis showed that there is a significant difference between the specific growth rate (SGR) between waterglass silica and silica solution ( $P = 0.018$ ) as well as between Sodium silica powder and silica solution ( $P = 0.024$ ) but no significant differences in SGR between waterglass silica and silica powder ( $P = 0.560$ ) was observed. The highest SGR was obtained in the use of waterglass silica ( $0.405 \pm 0.043d^{-1}$ ) and the lowest in the use of silica solution ( $0.290 \pm 0.037d^{-1}$ ). Biomass yield between each culture media did not show any difference ( $P = 0.770$ ). The biomass yields ranged from 0.60 - 0.62 g.L<sup>-1</sup>. However, there was a significant difference in biomass productivity between each treatment ( $P = 0.023$ ). The highest biomass productivity was obtained in the use of waterglass silica ( $0.252 \pm 0.033 g.L^{-1}.d^{-1}$ ) and the lowest in the use of silica solution ( $0.232 \pm 0.015g.L^{-1}.d^{-1}$ ). This study shows that the use of technical waterglass silica provides the highest growth rate and biomass productivity. Besides, waterglass silica is much cheaper and therefore it is more economical to use for mass culture of diatom *Skeletonema* sp.

**Keywords:** diatom, *Skeletonema* sp., silica, growth

### Pendahuluan

Diatom adalah alga mikroskopis bersel tunggal yang memiliki desain dinding selnya yang spektakuler yang terbuat dari silika (Round et al. 1990). Diatom termasuk dalam Kelas Bacillariophyceae dan dianggap sebagai kelompok yang paling penting dari fitoplankton eukariotik, yang bertanggung jawab atas sekitar 40% produktivitas primer laut (Lebeau dan Robert 2003).

Diatom memiliki potensi aplikasi yang luas. Diatom digunakan sebagai bahan makanan alami dalam budidaya dan sebagai indikator kondisi lingkungan (Stoermer dan Smol 2001). Diatom berpotensi untuk bioremediasi air yang terkontaminasi oleh logam berat (Lebeau et al. 2002), yang kaya fosfat dan nitrogen (Craggs et al. (1995). Selain itu komponen intra dan ekstra seluler diatom telah digunakan untuk berbagai aplikasi bioteknologi. Metabolit intraseluler yang diekstraksi dari sel diatom seperti lipid, terutama asam eikosapentaenoat (EPA) dan asam amino serta metabolit ekstraseluler seperti berbagai pigmen dan antibiotik, memiliki aplikasi farmasi dan kosmetik (Lebeau dan Robert 2002) bahkan potensil

sebagai bahan baku biodiesel (Indrayani 2017). Dinding sel silika diatom berlimpah di sedimen dasar laut sehingga diatom memiliki peranan penting dalam biogeokimia laut (Kemp et al. 2000).

Dalam budidaya diatom termasuk *Skeletonema* sp. diperlukan makronutrient tambahan selain nitrogen dan phosphor yakni silika. Silika diperlukan oleh diatom sebagai bahan penyusun dinding sel (frustule). Kekurangan silika akan menghambat pertumbuhan sel diatom. Oleh karena itu, silika harus disuplay dalam jumlah yang cukup agar pertumbuhan diatom dapat optimal. Untuk kultur diatom skala laboratorium biasa digunakan sumber silika yang Laboratory grade seperti sodium metasilicate powder atau silicate solution PA (Merck, Sigma Aldrich) yang harganya mahal serta sulit untuk mendapatkannya. Untuk keperluan kultur massal mikroalga dari jenis diatom maka akan diperlukan silika dalam jumlah yang banyak sehingga penggunaan silika yang laboratory grade sangat tidak ekonomis. Oleh karena itu diperlukan alternative sumber silika yang jauh lebih murah dan mudah didapat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

pertumbuhan dan produktivitas biomassa diatom *Skeletonema* sp. yang dikultur menggunakan sumber silika yang berbeda yakni Laboratory grade silika (Sodium metasilicate powder dan silicate solution) yang harganya mahal dengan silika wateglass teknis yang harganya jauh lebih murah.

### Metode Penelitian

#### Spesies mikroalga

Spesies mikroalga yang digunakan pada penelitian ini adalah *Skeletonema* sp. yang diisolasi dari Pantai Nambo, Sulawesi Tenggara, Indonesia pada Juni 2017 (Indrayani et al. 2018). Mikroalga ini diisolasi menggunakan metode pengayaan nutrient yang diikuti dengan teknik plating pada media agar 1% (Andersen dan Kawachi 2005) dalam medium f/2 Guillard (Guillard dan Ryther 1962). Koloni murni diperoleh setelah penggoresan berulang-ulang pada media agar.

#### Kondisi kultur

Mikroalga *Skeletonema* sp. dikultur pada wadah kultur Erlenmeyer kapasitas 300 mL yang berisi 150 mL media f/2 dengan salinitas 32 ppt menggunakan sumber silika yang berbeda yakni Sodium Metasilicate Powder (Laboratory grade, Merck), Sodium silicate solution PA (Merck) dan wateglass silikat Teknis masing-masing perlakuan dengan tiga kali ulangan. Untuk sodium metasilicate powder, konsentrasi stok solutionnya adalah 30g.L<sup>-1</sup> dan digunakan 1 mL untuk setiap L media kultur (setara dengan konsentrasi silika pada media f/2 atau 30 ppm). Untuk Sodium silicate solution PA, konsentrasi silika stok solution adalah 50 g/L dan digunakan 1 mL untuk 1 L media (setara dengan konsentrasi silika 50 mg. L<sup>-1</sup> atau 50 ppm). Sedangkan untuk wateglass silicate

stok solution digunakan 30 mL.L<sup>-1</sup> yang nantinya akan digunakan 1 mL untuk 1 L kultur (setara dengan konsentrasi silika pada media kultur sebesar 30 ppm). Kultur diinkubasi pada suhu kamar dengan intensitas cahaya sebesar 3800-4000 Lux dengan siklus gelap dan terang masing-masing 12 jam dengan metode batch selama 2 minggu.

#### Metode analysis

Pertumbuhan kultur dipantau dengan menghitung jumlah sel setiap dua hari menggunakan Neubauer haemocytometer (Moheimani et al. 2013).

Laju pertumbuhan spesifik (d<sup>-1</sup>) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$SGR = \ln (N2 / N1) / (t2-t1)$$

Di mana N1 dan N2 adalah kepadatan sel pada waktu 1 (t1) dan 2 (t2) dalam fase eksponensial.

Untuk penentuan Berat Kering (DW) dan Berat Kering bebas Abu (AFDW), lima mL kultur disaring melalui Whatman GF / C, kertas filter 25 mm menggunakan alat filter Millipore. Kertas saring dikeluarkan dari alat saringan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 75°C selama 5 jam. DW dihitung dengan persamaan berikut:

Berat Kering biomass (g.L<sup>-1</sup>) = (berat kertas saring ditambah alga) - (berat kertas saring)

Kertas saring berisi alga kemudian ditransfer ke furnace untuk pengabuan pada 450°C selama 5 jam. Berat kering organik (berat kering bebas-Abu) kemudian dihitung dengan persamaan berikut:

AFDW (g.L<sup>-1</sup>) = Berat kering biomass - berat abu

Selanjutnya produktivitas biomassa dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

Produktivitas Biomassa ( $\text{g L}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) =  
SGR x AFDW

### Metode statistik

Perbedaan signifikan antara perlakuan dianalisis dengan One-Way ANOVA. Selanjutnya akan digunakan Metode Holm-Sidak untuk secara tepat menguji perbedaan antar masing-masing perlakuan. Semua analisis statistik dilakukan dengan menggunakan paket software Sigma-Plot 14 (Systat Software Inc., USA).

### Hasil dan Pembahasan

Dalam kultur mikroalga/fitoplankton dari jenis diatom diperlukan silika selain makronutrient lainnya seperti nitrogen dan phosphor. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Papush & Danielson (2006) bahwa selain fosfor dan nitrogen diperlukan unsur lain yakni silika terlarut yang sangat penting bagi pertumbuhan diatom. Lebih lanjut dikatakan oleh Egge dan Aksnes (1992) bahwa diatom selalu mendominasi populasi fitoplankton pada konsentrasi silika yang tinggi.

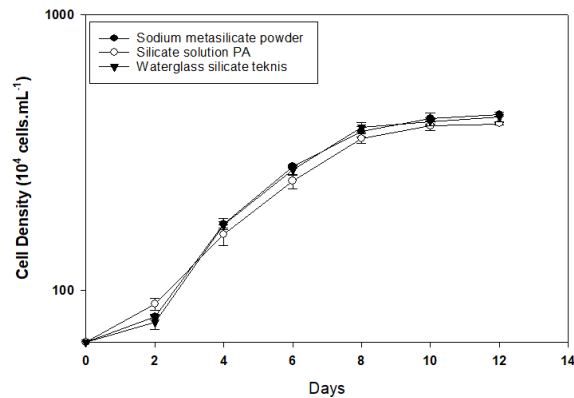
Dalam penelitian ini diuji coba penggunaan sumber silika yang berbeda yakni sodium metasilicate powder, silicate solution PA dan waterglass silicate teknis untuk kultur diatom *Skeletonema* sp. untuk selanjutnya dilihat bagaimana pertumbuhan dan produktivitas biomassa *Skeletonema* sp. berdasarkan perbedaan sumber silika.

### Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroalga *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar terlihat bahwa *Skeletonema* sp. dapat tumbuh dengan baik menggunakan ketiga jenis silika yang diberikan. Kultur *Skeletonema* sp. dengan kepadatan awal

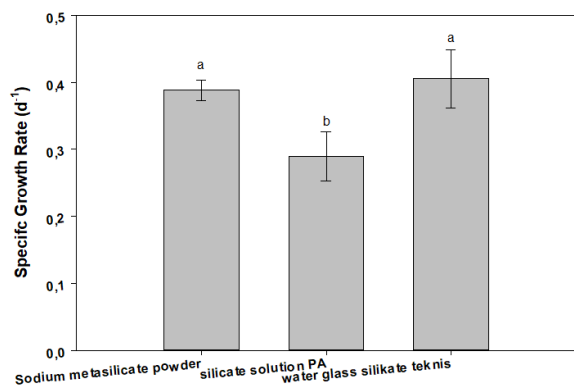
sekitar  $65 \times 10^4$  sel.  $\text{mL}^{-1}$  memerlukan waktu sekitar 2 hari untuk beradaptasi terhadap lingkungan yang baru (fase lag) sebelum memasuki fase eksponensial. Fase eksponensial dimulai dari hari ke-2 hingga hari ke-4 dengan kepadatan sel berkisar  $160-175 \times 10^4$  sel.  $\text{mL}^{-1}$  sebelum memasuki fase stationer awal.

Perlambatan pertumbuhan yang terjadi pada fase lag disebabkan karena mikroalga beradaptasi terhadap lingkungan yang baru termasuk media dengan silika yang berbeda, suhu, pH dan intensitas cahaya yang berbeda dengan kondisi awal kultur/inokulum. Setelah hari ke-2, kultur memasuki fase percepatan pertumbuhan (fase logaritmik/eksponensial) yang ditandai dengan peningkatan jumlah sel secara eksponensial hingga hari ke-4. Percepatan pertumbuhan pada fase eksponensial disebabkan karena sel sudah mulai beradaptasi terhadap lingkungannya serta ketersediaan nutrient dan intensitas cahaya yang melimpah untuk mendukung pertumbuhan yang cepat. Setelah hari ke-4, kultur memasuki fase stationer awal yang ditandai dengan perlambatan pertumbuhan dengan peningkatan jumlah sel yang semakin berkurang (tidak lagi secara eksponensial) hingga cenderung stagnan mulai ke 8 hingga hari ke 12. Perlambatan pertumbuhan pada fase stationer awal disebabkan karena ketersediaan nutrient yang semakin berkurang serta kepadatan sel yang semakin meningkat sehingga akses sel untuk mendapatkan cahaya semakin berkurang hingga sampai pada waktu dimana pertumbuhan sel menjadi tetap karena kehabisan nutrient serta akses cahaya yang semakin berkurang pada kepadatan sel maksimum ( $403-436 \times 10^4$  sel.  $\text{mL}^{-1}$ ).



Gambar 1. Kurva pertumbuhan *Skeletonema* sp. menggunakan sumber silika yang berbeda.

Laju pertumbuhan spesifik *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata (One-Way Anova,  $P < 0.05$ ). Terdapat perbedaan yang signifikan antara laju pertumbuhan spesifik (LPS) antara waterglass silika dengan silika solution (One-Way ANOVA,  $P < 0.05$ ) serta antara Lab grade Sodium silika powder dengan silika solution (One-Way ANOVA,  $P < 0.05$ ) namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada LPS antara waterglass silika dan lab grade silika powder ( $P > 0.05$ ). LPS tertinggi diperoleh pada penggunaan waterglass silika ( $0,405 \pm 0,043d^{-1}$ ) dan terendah pada penggunaan silika solution ( $0,290 \pm 0,037d^{-1}$ ) (Gambar 2).



Gambar 2. Laju pertumbuhan spesifik *Skeletonema* sp. menggunakan

sumber silika yang berbeda. Error Bars menunjukkan  $mean \pm SD$  ( $n=3$ )

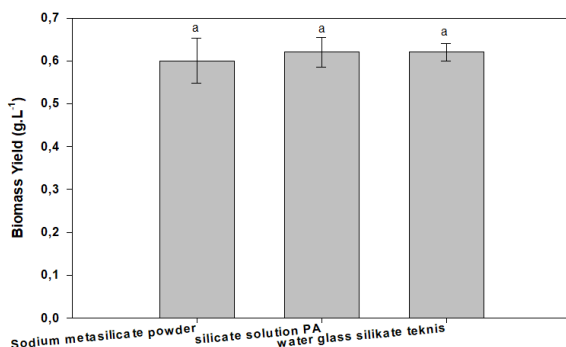
Penggunaan sumber silika yang berbeda memberikan kecepatan pertumbuhan yang berbeda. Laju pertumbuhan spesifik pada penggunaan waterglass silika teknis dan sodium metasilicate powder tidak berbeda nyata diduga disebabkan karena konsentrasi silika pada media kultur untuk kedua sumber silika optimal untuk memenuhi kebutuhan silika sel diatom *Skeletonema* sp. Sedangkan silicate solution yang memiliki konsentrasi silika yang lebih tinggi justru memiliki nilai LPS yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan silika yang terlalu tinggi juga kurang baik untuk pertumbuhan diatom. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Jiang et al. (2015) bahwa konsentrasi silika yang terlalu tinggi dapat bersifat toksik yang menghambat pertumbuhan diatom.

Silika diperlukan untuk pembentukan dinding sel diatom / frustule. Diatom memiliki kemampuan untuk mengambil asam silikat dari lingkungannya (pada konsentrasi rendah  $< 1 \mu M$ ) dan mengangkutnya melalui lapisan ganda lipid dari membran sel dan mengakumulasinya hingga lebih dari 1000 kali lipat di dalam sel (Hildebrand et al. 1997; Hildebrand et al. 1998). Kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) di perairan tawar berkisar 5-25 mg/L dan rata-rata silika pada perairan sungai adalah 13.1 mg/L sedangkan kandungan silika pada perairan laut berkisar 6,4 mg/L. Kandungan silika pada perairan umum tersebut relative rendah untuk mendukung pertumbuhan diatom oleh karena itu dalam budidaya mikroalga jenis diatom diperlukan silika dalam jumlah yang cukup karena jika silikat terbatas sel diatom tidak dapat menyelesaikannya siklus pertumbuhan yang pada gilirannya

menyebabkan kegagalan pembentukan frustul baru (Reynolds 2006). Cara yang dilakukan untuk meningkatkan kandungan silikat adalah dengan pemupukan silikat. Pemupukan silika dapat dilakukan untuk mencapai kadar konsentrasi yang diinginkan. Untuk kultur diatom menggunakan media f/2, kandungan silika media kultur sekitar 30 mg/L (Indrayani et al 2018) atau 60 mg/L untuk f media (Indrayani et al. 2019; Indrayani et al. 2020). Pada penelitian ini digunakan konsentrasi silika setara f/2 medium. Laju pertumbuhan spesifik diatom *Skeletonema* sp. yang diperoleh pada penelitian ini sejalan dengan LPS yang diperoleh oleh beberapa peneliti sebelumnya (Fitrah et al. 2022; Indrayani et al. 2020; Kaeriyama et al. 2011; Taraldsvik & Myklestad 2000)

### Biomass

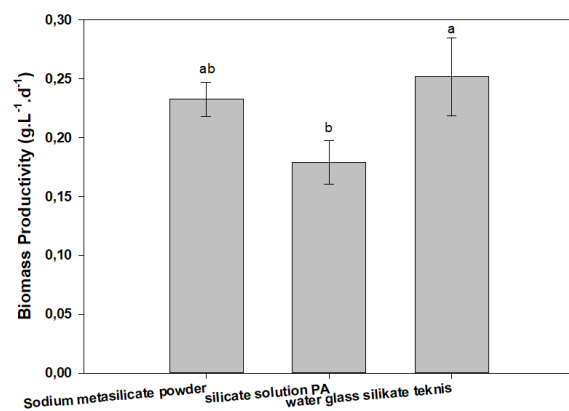
Biomass yield kultur mikroalga *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (One-Way ANOVA,  $P>0,05$ ). Biomass yield berkisar antara 0,60-0,62 g.L<sup>-1</sup> (Gambar 3).



Gambar 3. Biomass yield (g.L<sup>-1</sup>) *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda. Error Bars menunjukkan mean±SD (n=3)

Produktivitas biomassa kultur *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda menunjukkan perbedaan yang

signifikan (One-Way Anova,  $P<0.05$ ). Produktivitas biomassa *Skeletonema* menggunakan waterglass silika teknis tidak berbeda nyata dengan sodium metasilicate powder ( $P>0.05$ ) namun berbeda nyata dengan kultur *Skeletonema* sp. yang menggunakan silika solution PA ( $P<0.05$ ). Produktivitas biomassa tertinggi diperoleh pada penggunaan waterglass silika ( $0,252\pm0,033$  g.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) dan terendah pada penggunaan silika solution PA ( $0.17\pm0.015$  g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) (Gambar 4).



Gambar 4. Produktivitas Biomassa (g.L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) *Skeletonema* sp. menggunakan silika yang berbeda. Error Bars menunjukkan mean±SD (n=3)

Biomass yield dan produktivitas biomassa diatom *Skeletonema* sp. yang diperoleh pada penelitian ini sejalan dengan hasil yang diperoleh oleh Fitrah et al. (2022) yang membudidayakan *Skeletonema* sp. pada kolam raceway di outdoor memperoleh nilai rata-rata biomass yield sebesar 0,62 g.L<sup>-1</sup> AFDW dan biomass productivity sebesar 0,222 g.L<sup>-1</sup>. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Bastos et al (2022) dan Ebrahimi and Salarzade (2016) memperoleh nilai biomass yield yang lebih tinggi masing-masing 3.51g.L<sup>-1</sup> DW dan 1,52 g.L<sup>-1</sup> DW. Perbedaan nilai biomass yang diperoleh dapat disebabkan oleh beberapa faktor termasuk perbedaan species

*Skeletonema* dan kondisi kultur. Selain itu biomass yield pada penelitian ini berbasis ash-free dry weight (AFDW) atau berat biomass tanpa abu sedangkan kedua peneliti tersebut biomassnya berbasis dry weight yang megikutkan berat abu sementara di ketahui bahwa diatom memiliki dinding sel yang tebal yang tersusun atas silika yang memiliki kadar abu yang sangat tinggi seperti yang dikemukakan oleh Steinrucken et al (2018) bahwa kadar abu mikroalga berkisar 5-12% DW tetapi untuk diatom kadar abu dapat mencapai hingga 55% DW. Oleh karena itu untuk diatom sebaiknya komposisi biokimia sel dinyatakan dalam berat kering tanpa abu (Ash-Free Dry Weight) bukan Dry Weight (DW).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan waterglass silika teknis memberikan laju pertumbuhan spesifik, biomass yield dan produktivitas biomassa yang tertinggi diikuti oleh penggunaan sodium metasilicate powder dan silicate solution. Hasil penelitian ini sangat penting artinya bagi upaya budidaya mikroalga *Skeletonema* sp. secara massal karena akan dibutuhkan banyak silicate sementara waterglass silicate teknis harganya sangat murah dibanding kedua jenis silicate lainnya sehingga akan sangat ekonomis dan biaya produksi akan jauh lebih murah.

### Simpulan

Mikroalga *Skeletonema* sp. yang dikultur menggunakan waterglass silika dengan konsentrasi 30 mg.L<sup>-1</sup> memiliki laju pertumbuhan spesifik dan produktivitas biomassa tertinggi dibandingkan penggunaan laboratory grade silika (Sodium metasilicate powder dan sodium silicate solution, Merck). Untuk kultur dan produksi massal *Skeletonema* sp., penggunaan waterglass silika merupakan

pilihan terbaik karena lebih ekonomis, mudah didapat dan memberikan produktivitas biomassa yang tinggi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia untuk mendanai proyek penelitian yang berjudul "Isolasi dan Skrining Mikroalga Laut Oleaginous yang potensial untuk dibudidayakan secara massal pada kolam raceway sebagai bahan baku biodiesel" melalui Skema Penelitian Terapan pada 2019 (Nomor Kontrak: 519e / UN29.20 / PPM / 2019).

### Daftar Pustaka

- Andersen, R.A., Kawachi, M. (2005). Traditional microalgae isolation techniques. In: Anderson RA (eds) *Algal Culturing Techniques*. Elsevier. Amsterdam.
- Ebrahimi, E.; Salarzadeh, A. (2016). The Effect of Temperature and Salinity on the Growth of *Skeletonema costatum* and *Chlorella capsulate* in Vitro. *Int. J. Life Sci.* 6 (10), 40–44
- Egge, J.K., Aksnes, D.L. (1992). Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 83:281-289
- Fitrah, Indrayani, Emiyarti. (2022). Produksi Lipid Mikroalga Laut *Skeletonema* sp. Hasil Kultur Massal di Outdoor Raceway Pond Sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Jurnal Sains dan Inovasi Perikanan* 6(1):10-18.
- Guillard, R.R., Ryther, J.H. (1962). Studies of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella chui* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve). *Can J Microbiol* 8: 229-239.
- Hildebrand, M., Dahlin, K., Volcani, B.E. (1998). Characterization of a silicon

- transporter gene family in *Cylindrotheca fusiformis*: sequences, expression analysis, and identification of homologs in other diatoms. *Mol Gen Genet* 260:480-486
- Hildebrand, M., Volcani, B.E., Gassmann, W., Schroeder, J.J. (1997). A gene family of silicon transporters. *Nature* 385:68-89
- Indrayani, I., Haslianti, Asriyana. (2018). Isolation and screening of marine microalgae from Kendari waters, Southeast Sulawesi, Indonesia suitable for outdoor mass cultivation in hypersaline media. *AAFL Bioflux* 11 (5): 1445-1455.
- Indrayani, I. (2017). Isolation and characterization of microalgae with commercial potential. PhD thesis, Murdoch University, Perth, Australia, 214 pp
- Indrayani, I., Moheimani, N.R., Borowitzka, M.A. (2019). Long-term reliable culture of a halophilic diatom, *Amphora* sp. MUR258, in outdoor raceway ponds. *Journal of Applied Phycology* 31:2771-2778 <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01803-y>
- Indrayani, I., N.R. Moheimani., K. de Boer., P.A. Bahri., M.A. Borowitzka. (2020). Temperature and salinity effects on growth and fatty acid composition of a halophilic diatom, *Amphora* sp. MUR258 (Bacillariophyceae). *Journal of Applied Phycology* 32:977-987. [Doi 10.1007/s10811-020-02053-z](https://doi.org/10.1007/s10811-020-02053-z).
- Indrayani, I., Haslianti, H., Asmariyani, A., Muskita, W.H., Balubi, M. (2020). Growth, biomass and lipid productivity of a newly isolated tropical marine diatom, *Skeletonema* sp. UHO29, under different light intensities. *Biodiversitas* 21 (4): 1498-1503. [DOI: 10.13057/biodiv/d210430](https://doi.org/10.13057/biodiv/d210430)
- Jiang, Y., Katherine, S.L., Jola, B., Lou, B., Jennifer, C., Mark, B., Antonietta, Q. (2015). Effect of silicate limitation on growth, cell composition, and lipid production of three native diatoms to Southwest Texas desert. *Journal of Applied Phycology* 27:1433-1442. [DOI 10.1007/s10811-014-0463-7](https://doi.org/10.1007/s10811-014-0463-7)
- Kaeriyama, H., Katsuki, E., Otsubo, M., Yamada, M., Ichimi, K., Tada, K., Harrison, P.J. (2011). Effects of Temperature and Irradiance on Growth of *Skeletonema* Species Isolated from Dokai Bay, Southern Japan. *Eur. J. Phycol.*, 46(2): 113-124
- Kemp, A.E.S., Pike, J., Pearce, R.B., C.B. Lange, C.B., (2000), 'The "Fall dump" – a new perspective on the role of a "shade flora" in the annual cycle of diatom production and export flux'. *Deep-Sea Res. II* 47: 2129-2154.
- Lebeau, T., Bagot, D., Jezequel, K., Fabre, B. (2002). 'Cadmium Biosorption by Free and Immobilised Microorganisms Cultivated in a Liquid Solid Extract Medium: Effect of Cd, pH and Technique of Culture'. *Sci. Tot. Environ.* 291:73-83.
- Lebeau, T., Robert, J.M. (2003). 'Diatom Cultivation and Biotechnologically Relevant Products. Part II: Current and Putative Products'. *Applied Microbiology Biotechnology* 60: 624-632.
- Moheimani, N.R., Borowitzka, M.A., Isdepsky, A., Fon Sing, S. (2013). Standard methods for measuring growth of algae and their composition. In: Borowitzka MA, Moheimani NR (eds.) *Algae for Biofuels and Energy*. Springer, Dordrecht.



- Papush, L., Danielsson, A. (2006). Silicon in the marine environment: Dissolved silica trends in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67:53-66.
- Reynolds, C. (2006). Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- Round, F., Crawford, R., Mann, D. (1990). The Diatom, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Stoermer, E.F., Smol, J.P. (2001). The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Steinrücken, P., Mjøs, S.A., Prestegard, S.K., Erga, S.R. (2018). Enhancing EPA Content in an Arctic Diatom: A Factorial Design Study to Evaluate Interactive Effects of Growth Factors. *Front. Plant Sci.* 9:491. [doi: 10.3389/fpls.2018.00491](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00491)
- Taraldsvik, M., Myklestad, S.M. (2000). The effect of pH on growth rate, biochemical composition and extracellular carbohydrate production of the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Eur. J. Phycol.* 35:189–194.

Halaman ini sengaja dikosongkan