

KARAKTERISTIK FIKOERITRIN SEBAGAI PIGMEN ASESORIS PADA RUMPUT LAUT MERAH, SERTA MANFAATNYA

Iqna Kamila Abfa¹, Budhi Prasetyo¹, AB Susanto²

- 1) Program Studi Magister Biologi
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga Jawa Tengah 50711
- 2) Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro,
Tembalang, Semarang 50275
E-mail : ignahensus@yahoo.co.id

ABSTRAK

Rumput laut di Indonesia telah banyak dimanfaatkan sebagai obat-obatan, bahan makanan, bahan dasar kosmetik, dan senyawa bioaktif serta nutrisi. Salah satu senyawa bioaktif yang dominan terkandung pada rumput laut merah adalah fikobilin, terdiri dari fikoeritrin dan fikosianin. Fikobilin terbentuk oleh reduksi biliverdin melalui fitokromobilin. Pigmen tersebut berperan penting sebagai pigmen pelengkap pada proses fotosintesis rumput laut merah dengan membantu klorofil-a dalam menyerap cahaya, fikoeritrin menyerap cahaya hijau yang dapat menutupi warna hijau dari klorofil dan biru dari fikosianin. Struktur subunit fikoeritrin (PE) adalah $(\alpha\beta)6\gamma$ dengan nilai absorbansi maksimal sekitar 580 nm. Jenis-jenis fikoeritrin berdasarkan serapan spektranya dibagi menjadi beberapa macam, yaitu B-fikoeritrin (B-PE), R-fikoeritrin (R-PE) dan C-fikoeritrin (C-PE), R-PE jenis fikobiliprotein yang mendominasi algae merah. Beberapa penelitian telah menunjukkan banyaknya manfaat dari pigmen tersebut. PE telah digunakan secara luas dalam industri dan laboratorium penelitian imunologi, contoh sebagai label antibodi, reseptor antigen dan molekul biologi yang lain. Selain itu PE digunakan dalam aplikasi histokimia, digunakan sebagai fotosensitizer untuk pengobatan tumor dan berpotensi sebagai antioksidan.

Kata kunci : Rumput laut merah, Fikobiliprotein, Fikoeritrin.

ABSTRACT

Seaweeds has been used as medicines, food and cosmetic ingredients, bioactive compounds and nutrients. One of the dominant bioactive compounds contained in red seaweeds is phikobilin, consisting of phycoerythrin and phycocyanin. Phikobilin formed by the reduction of biliverdin through phitocromobilin. Phikobilin are a family of light-harvesting pigment in photosynthesis process, green light-absorbing by phycoerythrin which can cover the green color of chlorophyll and blue from phycocyanin. Subunit structure of phycoerythrin (PE) is $(\alpha\beta) 6\gamma$. Phycoerythrin absorb light at 580 nm. The types of phycoerythrin based on absorption spectrum divided into three types, namely B-phycoerythrin (B-PE), R-phycoerythrin (R-PE) and the C-phycoerythrin (C-PE), R-PE fikobiliprotein types that dominate in red algae. Several studies have shown the benefits of phycoerythrin. It has been used widely in the industry and recent research in immunology laboratory as labeled antibody, antigen receptors and other biological molecules. PE also used in histochemical applications as a photosensitizer for the treatment of tumors and potential as an antioxidant.

PENDAHULUAN

Masyarakat Indonesia telah banyak memanfaatkan rumput laut sebagai bahan pangan dan non-pangan, akan tetapi masih banyak produksi olahan rumput laut yang belum memanfaatkan pigmen alami yang terkandung di dalamnya. Banyak penelitian mengemukakan komposisi dan kandungan pigmen sehingga diperoleh informasi untuk mengembangkan dan mengeksplorasi beberapa produk rumput laut. Rumput laut merah (Rhodophyta) termasuk jenis rumput laut berpotensi ekonomi tinggi, mengandung vitamin, mineral, serat, natrium, kalium, dan senyawa bioaktif yang berupa hasil metabolit sekunder, dan nutrisi yang paling penting adalah pigmen (Fretes H, *et al* 2012; Yunizal, 2004). Rumput laut merah mengandung pigmen fikoeritrin dan fikosianin sebagai pigmen

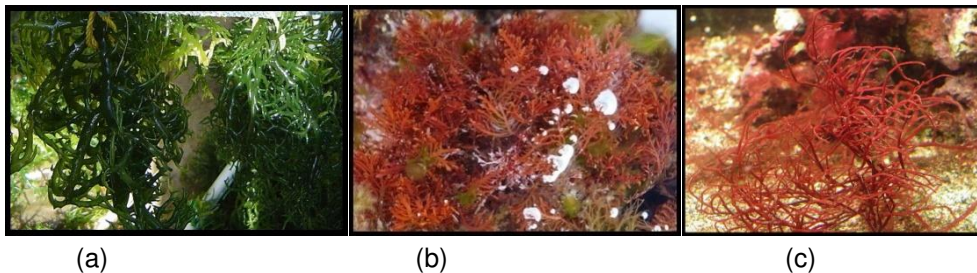


asesoris atau pelengkap dalam proses fotosintesis, dan polisakarida utama berupa agar dan karagenan, pigmen yang terkandung di dalamnya banyak dimanfaatkan di bidang farmasi (Mc Hugh *et al.*, 2003). Pigmen fikoeritrin tidak kalah penting perannya dalam metabolisme rumput laut merah, karena fikoeritrin berperan untuk membantu menangkap cahaya yang digunakan klorofil dalam proses fotosintesis.

Rumput Laut Merah

Rumput laut merah merupakan jenis yang paling banyak di manfaatkan dan bernilai ekonomis. Tumbuh di dasar perairan laut sebagai fitobentos dengan menancapkan atau meletakkan pada substrat lumpur, pasir, karang hidup dan mati. Jenis rumput laut merah yang banyak dimanfaatkan seperti *Euचेuma* sp., *Gelidium* sp., *Gracilaria* sp., dan *Hypnea* sp (Gambar 1). Di Indonesia sudah banyak produksi bahan baku rumput laut karena kandungan yang dimilikinya yaitu agar-agar, karaginan, porpiran, maupun pigmen fikobilin. Ciri khas rumput laut merah yaitu mengandung pigmen fikobilin yang terdiri dari fikoeritrin dan fikosianin.

Fikobilin pada rumput laut merah berfungsi sebagai pigmen pelengkap untuk menyerap dan memindahkan energi dalam proses fotosintesis. Lemak rumput laut kaya akan omega-3 dan omega-6, kedua asam lemak ini merupakan lemak yang penting bagi tubuh, terutama sebagai pembentuk membran jaringan otak, saraf, retina mata, plasma darah, dan organ reproduksi. Karaginan yang terkandung dalam rumput laut mempunyai fungsi hampir sama dengan agar, antara lain sebagai pengatur keseimbangan, pengental, pembentuk gel, dan pengemulsi.



Gambar 1. Jenis-jenis rumput laut merah, (a) *Euचेuma* sp. (b) *Gelidium* sp. (c) *Gracilaria* sp.
Sumber: id.wikipedia.org

Pigmen Fikoeritrin

Proses fotosintesis pada tumbuhan terjadi tidak hanya menggunakan pigmen klorofil dan karotenoid saja seperti diketahui pada umumnya, tetapi terdapat pigmen pelengkap yang juga berperan penting dalam proses fotosintesis tersebut. Fikobiliprotein, merupakan pigmen yang mempunyai peran besar sebagai pigmen asesoris atau pelengkap selama proses fotosintesis (Bryant, 1982; Chakdar *et al.*, 2012), struktur dan komposisinya sangat bermacam-macam yang terdapat pada cyanobacteria, algae merah (Rhodophita), Cryptomonads dan beberapa Pyrrophyceae (Niu *et al.*, 2006; Grossman *et al.*, 1995; Guan *et al.*, 2007).

Fikobiliprotein membentuk antena di permukaan stromal pada membran tilakoid algae merah (Gantt, 1980 *dalam* Bryant, 1982). Di dalam sel, energi cahaya ditangkap oleh fikobiliprotein yang kemudian ditransfer ke klorofil *a* dengan ketepatan mendekati 100% (Bryant, 1982), cahaya diserap pada panjang gelombang 450 nm sampai 650 nm, ketika klorofil *a* menyerap cahaya dengan kurang baik, dan mentransfer energi untuk Fotosintesis II (Kawsar *et al.*, 2011).



Tabel 1. Klasifikasi Biliprotein Berdasarkan Absorbansi Panjang Gelombang.

Biliprotein	Distribusi	Absorbansi maksimum (nm)	Emisi fluoresensi maksimum (nm)	Struktur subunit	Kandungan kromofor pada promotor ($\alpha\beta$)
Allofikosianin B	C, A	671>618	675	($\alpha\beta$) ₃	2 PCB
Allofikosianin	C, A	650	660	($\alpha\beta$) ₃	2 PCB
C-fikosianin	C, A	620	640	($\alpha\beta$) ₃ ; ($\alpha\beta$) ₆	3 PCB
R-fikosianin	A	617>555	636	($\alpha\beta$) ₃ ; ($\alpha\beta$) ₆	2PCB; 1 PCB
Fikoerithrocianin	C	570>595	625	($\alpha\beta$) ₃ ; ($\alpha\beta$) ₆	2 PCB; 1 PXB
C-fikoeritrin	C	560	577	($\alpha\beta$) ₃ ; ($\alpha\beta$) ₆	5-6 PEB
b-fikoeritrin	A	545>563	570	($\alpha\beta$) _n	6 PEB
B-fikoeritrin	A	545>563>498	575	($\alpha\beta$) ₆ γ	6 PEB
R-fikoeritrin	C, A	565>540>498	578	($\alpha\beta$) ₆ γ	-

Ket: Data diambil dari Glazer, 1977; Muckle & Rüdiger, 1977; Glazar & Hixson, 1977; Nies & Wehrmeyer, 1980 dalam Bryant, 1982. C dan A masing-masing menerangkan ada tidaknya protein dalam Cyanobacteria dan Alga merah. Posisi yang tepat pada absorbansi dan emisi fluoresensi maksimum berubah tergantung pada keadaan agregasi dan organisme yang mana menjalankan sebagai sumber protein. Singkatan untuk kromofor fikobilin diantaranya; PEB: phycoerythrobilin; PCB: phycocyanobilin; PXB: tipe kromofor phycobiliviolin (struktur taktentu).

Salah satu pigmen dominan pada rumput laut merah adalah fikobilin (Pagulendren *et al.*, 2012) yang terdiri dari fikoeritrin, fikosianin, dan allofikosianin. Fikobilin merupakan protein, mempunyai cincin tetrapirrol dan termasuk dalam gugus kromofor. Semua kromofor fikobilin mengikat sistein spesifik pada rantai polipeptida oleh ikatan-ikatan tioeter (Niu *et al.*, 2006).

Pigmen fikobilin tersebut merupakan pigmen yang menghasilkan warna merah pada algae merah, terbentuk oleh dua sub unit kromofor, α (Mr 10.000- 19.000) dan β (Mr 14.000-21.000), dan terdapat dalam trimerik ($\alpha\beta$)₃ (sekitar 120 kDa) atau hexamerik ($\alpha\beta$)₆ (sekitar 240 kDa), dimana ($\alpha\beta$) sekitar 40 kDa merupakan fikobilin monomer (Chakdar *et al.*, 2012; Pagulendren *et al.* 2012; Pumas *et al.* 2012; Tandeau, 2003). Selain itu, merupakan pigmen tambahan yang menutup warna hijau dari klorofil dan bekerja sebagai pigmen pengumpul cahaya dan berperan dalam proses memindahkan atau mentransfer energi pada Fotosintesis II (PS II), yang mana secara kovalen berikatan dengan bilin dari prostetik tetrapirrol (Kawsar *et al.*, 2011; Pumas *et al.*, 2012). Melalui pigmen tersebut (fikoeritrin dan fikosianin) gelombang cahaya yang masuk ke laut diserap, kemudian mentransfer energi cahaya ke klorofil untuk keperluan fotosintesis. Bentuk dari hasil proses fotosintesis tersebut menyerupai glikogen yang biasa disebut tepung floridean.

Fikobilin menyerap cahaya pada panjang gelombang 450-650 nm, dengan tiga puncak pada pola spektranya, fikoeritrin menyerap cahaya pada daerah hijau (495-570 nm), fikosianin pada daerah hijau kuning (550-630 nm) dan allofikosianin di daerah oranye merah dengan panjang gelombang 650-670 nm (Kawsar *et al.* 2011; Pugalendren *et al.*, 2012). Secara visual, ekstrak pigmen fikoeritrin tampak berwarna merah dan fikosianin berwarna biru.

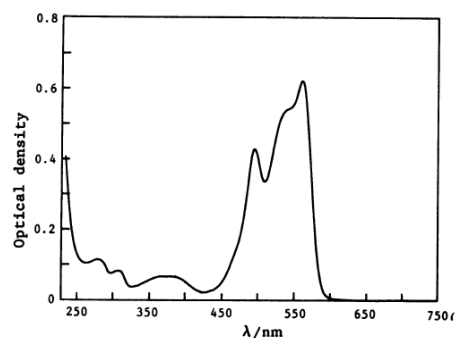
Fikoeritrin (PE) adalah fikobiliprotein, merupakan pigmen yang paling dominan pada algae merah dibandingkan dengan pigmen yang lain, pigmen yang dapat menutupi warna hijau dari klorofil



dan warna biru dari fikosianin, hal tersebut yang menyebabkan warna thallus pada algae berwarna merah. Semakin bertambahnya kedalaman laut, kandungan pigmen fikoeritrin semakin bertambah. Hal tersebut karena rendahnya kandungan klorofil *a*, sehingga memicu pembentukan fikoeritrin yang lebih banyak untuk membantu penyerapan cahaya yang digunakan untuk fotosintesis.

Fikoeritrin ini salah satu pigmen yang paling stabil dari semua yang termasuk dalam fikobiliprotein karena mempunyai sebuah subunit γ yang berada di pusat rongga molekul (Niu *et al.*, 2006). Struktur subunit fikoeritrin adalah $(\alpha\beta)_6\gamma$ dan mempunyai berat molekul 250×10^3 dengan nilai absorbansi maksimal sekitar 580 nm mempunyai dua tipe kromofor 's' (sensitizing) dan 'f' (fluorescing) (Glazer, 1994; Tandeau, 2003).

Fikoeritrin merupakan sebuah protein globular dan larutannya merupakan larutan multikomponen. Fikoeritrin mempunyai kestabilan yang tinggi dibandingkan dengan pigmen yang lain, dengan rentang pH antara 5,4-6,8 (Mizuno *et al.*, 1986), sedangkan menurut hasil penelitian Kawsar *et al.* (2011), R-PE dapat stabil pada pH antara 3,5 sampai 9,5. Fikoeritrin telah ditemukan di beberapa jenis rumput laut merah seperti *Gracillaria sp.*, *Eucheuma sp.*, *Porphyra yezoensis* (Mizuno *et al.*, 1986).

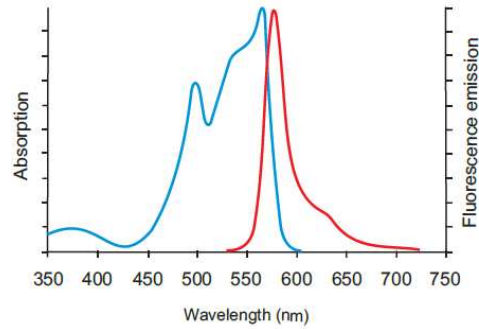


Gambar 2. Tipe serapan spektrum fikoeritrin pada pH 6,8.
(Mizuno *et al.*, 1986)

Fikoeritrin merupakan protein yang bekerja sebagai pigmen pelengkap pada algae merah dan alga biru-hijau seperti halnya fikobilin, berfungsi dalam sel alga untuk membantu klorofil-*a* dalam menyerap cahaya pada proses fotosintesis. Cahaya yang diserap oleh fikoeritrin secara efisiensi dipindahkan ke fikosianin, kemudian ke allofikosianin, diteruskan ke allofikosianin B dan terakhir ke klorofil (Bryant, 1982; Chakdar *et al.* 2012).

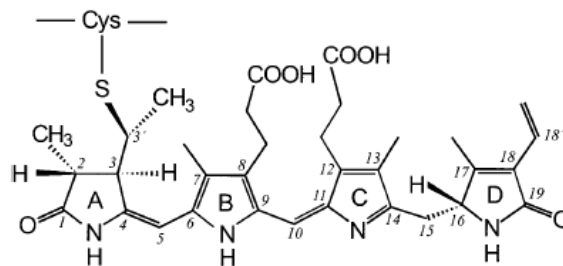
Berdasarkan serapan spektranya fikoeritrin dibagi menjadi : B-fikoeritrin (B-PE), R-fikoeritrin (R-PE) dan C-fikoeritrin (C-PE), R-PE jenis fikobiliprotein yang mendominasi algae merah (Marsac, 2003). Pigmen tersebut merupakan jenis pigmen yang larut air dan protein stabil. R-PE bisa digunakan dalam produksi makanan dan kosmetik, dan berperan penting dalam beberapa teknik biokimia yang berkaitan dengan sifat fluoresensinya (Albertsson, 2003). R-PE biasanya dapat digunakan untuk pelabelan dalam imunologi, sel biologi dan flow cytometry (Kronik, 1986; Wilson, *et al.* 1991), selain itu dapat digunakan sebagai bahan celup alami makanan dan sebagai penanda dalam gel elektroforesis dan isoelektrofocusing (D'Agnolo *et al.*, 1994; Araoz *et al.*, 1998).





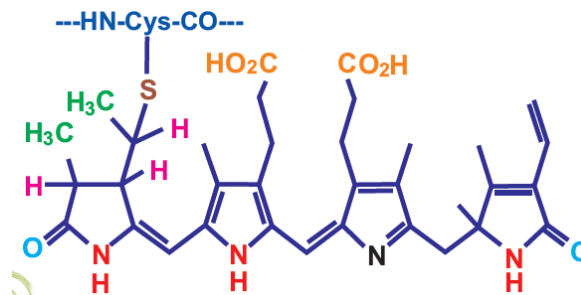
Gambar 3. Spektrum absorbansi dan fluoresensi fikoeritrin pada pH buffer 7,5 (Jurnal Hash Biotech)

Fikoeritrin stabil pada pH antara 3,5 dan 9,5 (Kawsar *et al.* 2011), ketika pH melebihi nilai tersebut, pigmen fikoeritrin tidak menampilkan warna merahnya.



Gambar 3. Struktur kimia fikoeritrobin

(Ritter *et al.* 1999)



Gambar 4. Struktur kimia Fikoeritrin (Jurnal Hash Biotech)

Manfaat Fikoeritrin

Fikoeritrin merupakan pigmen yang berguna bagi kesehatan, berdasarkan hasil uji menggunakan metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) fikoeritrin berpotensi sebagai antioksidan (Pumas *et al.*, 2012). Dengan begitu, pigmen tersebut dapat memperlambat bahkan menghambat oksidasi suatu zat, dapat melindungi sel dari dampak serangan radikal bebas. Selain sebagai antioksidan juga berpotensi sebagai pewarna alami dan label fluoresensi yang dapat stabil pada suhu tinggi.

Tingginya koefisien serapan molar yang mendekati $2,4 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \text{ cm}$, hasil fluoresensi kuantum yang tinggi sekitar 0,8, stabilitas oligomer yang tinggi dan fotostabilitas tinggi, PE telah digunakan secara luas dalam perindustrian, laboratorium penelitian imunologi, dan teknik biokimia. Banyak teknik bioteknologi juga mengembangkan PE sebagai agen pelabel fluoresensi, contohnya sebagai label antibodi, antigen reseptor dan molekul biologi yang lain, yang mana dapat digunakan dalam percobaan immunolabeling dan mikroskopi fluoresensi atau tes diagnosa (Glazer *et al.*, 1994; Niu *et al.*, 2006; Spolaore *et al.*, 2006; Kawsar *et al.*, 2011), selain itu PE juga penting digunakan pada



produksi cahaya fluoresensi dalam aplikasi makanan, terutama minuman (Dufosse *et al.*, 2005). Protein ini mempunyai beberapa kelebihan di bidang bioteknologi dalam olahan pakan, kosmetik, dan proses analitik (Bryant, 1982; Muzino, 1986; Pugalendren *et al.*, 2012).

PE dapat digunakan untuk mendeteksi jumlah salinan antigen pada permukaan sel. Misalnya, pada pembentukan Epidermal Growth Factor (EGF) atau faktor pertumbuhan epidermal untuk tipe sel yang berbeda-beda dapat diselidiki menggunakan biotinil EGF kompleks dengan antibodi fikoeritrin-label anti-biotin (Glazer, 1994).

Niu *et al.* (2006) mengemukakan bahwa fikobiliprotein dapat digunakan sebagai photosensitizer untuk pengobatan tumor, berpotensi sebagai pengganti Fotofrin (salah satu jenis agen peka cahaya pada terapi fotodinamik). Fikobiliprotein dapat digunakan sebagai pelabel dalam analisis sel yang sama pentingnya dalam penggunaan fikobiliprotein dalam aplikasi histokimia. Kombinasi antara fikobiliprotein dan pewarna spesifik sebagai penanda menunjukkan lokalisasi beberapa antigen bagian jaringan tunggal menggunakan mikroskopi fluoresensi (Hermiston *et al.*, 1992 *dalam* Glazer, 1994).

Fikobiliprotein mempunyai nilai ekonomi yang tinggi karena melihat beberapa potensi yang dimilikinya. Tetapi ketersediaan pigmen tersebut terbatas, metode purifikasi yang sulit dan membutuhkan banyak waktu, dan untuk ekstrak kasar pigmen tersebut tidak mudah karena membutuhkan metode untuk melepaskan polisakarida dari sel algae, dimana algae laut merupakan organisme yang mengandung banyak polisakarida.

DAFTAR PUSTAKA

- Albertsson P.A. 2003. The contribution of photosynthetic pigments to the development of biochemical separation methods: 1900-1980. *Photosynth. Res.*, 76(1-3): Pp 217-225.
- Bryant Donald A. 1982. Phycoerythrocyanin and phycoerythrin: properties and occurrence in cyanobacteria. *Journal of general Microbiology*. 128: 835-844.
- Chakdar H., S. Pabbi. 2012. Extraction and purification of phycoerythrin from *Anabaena variabilis* (CCC421). *Phykos*. 42 (1): 25-31.
- Chang W., Tao Jiang, Ji-Ping Zhang, Dong-cai Liang. 2000. The crystal structure of R-Phycoerythrin. Vol. 6 : 6 hlm.
- De Fretes H., AB Susanto, B. Prasetyo, Heriyanto, Tatas H. P., L. Limantara. 2012. Estimasi Produk Degradasi Ekstrak Kasar Pigmen Alga Merah *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty Varian Merah, Coklat, dan Hijau: Telaah Perbedaan Spektrum Serapan. *Jurnal Ilmu Kelautan,UNDIP* Vol. 17(1): Pp 31-38.
- Dufosse, L., P. Galaup, A. Yarnon, S.M. Arad, P. Blanc, K.N. Chidambara Murthy, G.A. Ravishankar. 2005. Microorganisms and microalgae as source of pigment for use: a scientific oddity or an industrial reality. *Trends Food Sci. Technol.* Vol.16: 389-406.
- Gantt, E. 1980. Structure and function of phycobiliprotein: light harvesting pigment complexes in red and blue-green algae. *International Review of Cytology*. 66: 45-80
- Glazer A.N. 1994. Phycobiliproteins – a family of valuable, widely used fluorophores. *Journal of Applied Phycology*. 6: 105-112.
- Glazer, A.N. 1977. Structure and molecular organization of the photosynthetic accessory pigments of cyanobacteria and red algae. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 18: 125-140.
- & Hixson, C.S. 1977. Subunit structure and chromophore composition of rhodophytan phycoerythrins. *Porphyridium cruentum*B-phycoerythrin and b-phycoerythrin. *Journal of Biological Chemistry*. 252: 32-42.
- Grossman, A., Bhaya D., Apt K., D. Kohoe. 1995. Light-harvesting complexes in oxygenic photosynthesis: diversity, control and evolution. *Annu. Rev. Genet.* 29: 231-288.
- Guan X., Qin S., Zhao F., Zhang X., X. Tang. 2007. Phycobilisomes linker family in cyanobacterial genomes: divergence and evolution. *Int. J. Biol. Sci.* 3: 343-355.



- Hermitson M.L., Latham C.B., Gordon J.I, Roth K.A. 1992. Simultaneous localization of six antigens in single sections of transgenic mouse intestine using a combination of light and fluorescence microscopy. *Journal Histochem. Cytochem.* 40: 1283-1290.
- Kawsar S., Yuki F., Ryo M., Hidetaro Y., & Yasuhiro O. 2011. Protein R-phycoerythrin from marine red alga *Amphiroa anceps*: extraction, purification and characterization. *PHYTOLOGIA BALKANICA.* 17(3):347-354.
- Kroni. M.N. 1986. The use of phycobiliprotein as fluorescent labels in immunoassay. *Jurnal Immunol. Methods*, 92(1): Pp 1-13.
- Marsac, N.T. 2003. Cyanobacterial phycobilisomes. *J.Struc. Biol.*, 124(2-3): Pp 311-334.
- Mizuno Haruo, N. Iso, T. Saito, F. Ohzeki, H. Ogawa, Z. Wang. 1986. Solution properties of phycoerythrin. I. Characterization of phycoerythrin. The Chemical Society of Japan. *Bull. Chem. Soc.*, 59: 1161-1165.
- Muckle G. & Rüdiger W. 1977. Chromophore content of C-phycoerythrin from various cyanobacteria. *Zeitschrift für Naturforschung* 32c: 957-962.
- Nies M. & Wehmeyer W. 1980. Isolation and biliprotein characterization of phycobilisomes from the thermophilic cyanobacterium *mastigocladus laminosus* Cohn. *Planta.* 150: 330-337.
- Niu Jian-Feng, Guang-ce W., Cheng-Kui T. 2006. Method for large-scale isolation and purification of R-phycoerythrin from red *Polysiphonia urceolata* Grev. *Protein Expression and Purification.* 49: 23-31.
- Pugalndren S., B. Sarangam, R. Rengasamy. 2012. Extraction of R-Phycoerythrin from *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva and analyses of its physico-chemical properties. Youth Education and Research Trust (YERT). India. Vol. 1 (7): Pp 407-411.
- Pumas C., Y. Peerapornpisal, P. vacharapiyasophon, P. Leelapornpisid, W. Boonchum, M. Ishii, C. Khanongnuch. 2012. Purification and characterization of a thermostable phycoerythrin from hot spring cyanobacterium *Leptolyngbya* sp. *International Journal of Agriculture & Biology.* Vol. 14: 121-125.
- Ritter, S., Roger G. H., Pamela M.W., Wolfarm W., Kay Diederichs. 1999. Crystal Structure of a Phycourobilin-Containing Phycoerythrin at 1.90- Å Resolution¹. *Journal of Structural Biology.* 126: 86-97.
- Spaloare, P., C. Joannis-Cassan, E. Duran and A. Isambert. 2006. Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.*, 101: Pp 87-96.
- Tandeau, Nicole. 2003. Phycobiliprotein and phycobilisome: the early observations. Kluwer Academic Publisher. Netherland. *Photosynthesis Research.* 76: 197-205.
- Wilson, M.R., Crowley, S., Odgers, G.A. & Shaw, L. 1991. Immunofluorescent label in using covalently linked anti-Phycoerythrin antibodies and Phycoerythrin polymers. *Cytometry*, 12(4): 373-377.
- Yunizal. 2004. Teknologi Pengolahan Alginat. Pusat Riset Pengolahan Produk dan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan. BRKP, Jakarta, 66 hlm.

