

KORELASI KANDUNGAN FUKOSANTIN DARI *Turbinaria* sp. TERHADAP NUTRIEN LAUT DI PANTAI BINUANGEUN DAN KRAKAL

Hedi Indra Januar¹⁾ dan Thamrin Wikanta¹⁾

ABSTRAK

Pigmen fukosantin merupakan senyawa potensial di bidang nutrasetikal. Pigmen ini banyak terdapat pada alga, salah satunya dalam *Turbinaria* sp. yang umum ditemukan di perairan pesisir Indonesia. Untuk memaksimalkan produksi fukosantin dalam upaya pengembangan industri nutrasetikal di wilayah pesisir, perlu diketahui parameter lingkungan yang optimal untuk biosintesisnya. Pada tinjauan pustaka, telah diketahui bahwa nutrisi nitrogen dan atau fosfat berpengaruh besar terhadap pertumbuhan alga di laut. Berdasarkan hal tersebut, maka makalah ini bertujuan untuk menemukan lingkungan optimal bagi *Turbinaria* sp. dalam memproduksi fukosantin, berdasarkan analisis korelasi. Data yang dikorelasikan merupakan fukosantin *Turbinaria* sp. dari perairan pesisir pantai Krakal (Yogyakarta) dan Binuangeun (Banten). Kadar fukosantin di tiap sampel diperbandingkan berdasarkan puncak areanya pada kromatogram dari injeksi 1 mg ekstrak n-heksana *Turbinaria* sp. pada sistem kromatografi cair kinerja tinggi. Hasil analisis menunjukkan bahwa area puncak fukosantin berbeda secara nyata pada variasi lokasi pengambilan sampel ($P = 7,99 \times 10^{-6}$), waktu pengambilannya ($P = 6 \times 10^{-3}$), dan interaksi keduanya ($P = 3 \times 10^{-3}$). Sementara analisis korelasi menunjukkan bahwa interaksi kadar fosfat dan suhu dapat menjadi prediktor yang berkorelasi kuat ($R = 0,986$) dan signifikan ($P = 1,09 \times 10^{-7}$) terhadap area puncak fukosantin ($R^2 = 96,5\%$). Hasil ini selaras dengan pembatas pertumbuhan alga di laut dan fungsi proteksi pigmen sebagai proteksi radiasi ultraviolet. Oleh karena itu, maka pemilihan tempat produksi fukosantin akan optimal di muara limpasan wilayah pertanian yang dapat mengandung fosfat dalam jumlah tinggi.

ABSTRACT: *Correlation between fucoxanthin contents in Turbinaria sp. and sea water nutrients at Binuangeun and Krakal Coasts. By: Hedi Indra Januar and Thamrin Wikanta*

Fucoxanthin pigment is a potential compound in nutraceutical. It is commonly found in algae such as in Turbinaria sp., a very abundant species in Indonesian coastal. To maximize the production of fucoxanthin for the development of nutraceutical industry in the coastal area, it is important to identify the optimal environmental parameters for its biosynthesis. It has been reported that nitrogen and or phosphate nutrients affect the growth of algae. Therefore, this paper aimed to obtain an optimal environment for Turbinaria sp. to produce fucoxanthin based on correlation analysis. Correlated data were fucoxanthin isolated from Turbinaria sp. that was collected from Krakal (Yogyakarta) and Binuangeun (Banten) coasts. Fucoxanthin contents in each sample were compared based on the peak areas in chromatogram after 1 mg injection of n-hexane extract of T. decurrens in the HPLC system. The analysis results showed that the peak areas of fucoxanthin were significantly different among sampling locations ($P = 7.99 \times 10^{-6}$), sampling periods ($P = 6 \times 10^{-3}$) and interaction of both ($P = 3 \times 10^{-3}$). Whereas the correlation analysis revealed that interaction between phosphate and temperature could be a predictor that strongly ($R = 0.986$) and significantly correlated ($P = 1.09 \times 10^{-7}$) with the peak areas of fucoxanthin ($R^2 = 96.5\%$). These results were in line with growth limiting factor in seawater and the function of fucoxanthin as ultraviolet protector. Based on these results, it is suggested that the suitable location for fucoxanthin production is in the area of agricultural run-off that contains an elevated concentration of dissolved phosphate.

KEYWORDS: fucoxanthin, *Turbinaria* sp., sea water nutrient

PENDAHULUAN

Pigmen fukosantin merupakan salah satu pigmen karotenoid bioaktif dari alga yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan nutrasetikal. Bentuk formulasi dari senyawa ini telah dipasarkan sebagai

produk komersial, karena memiliki aktivitas sebagai penurun berat badan (Anon., 2009; 2010^a; 2010^b). Selain itu, senyawa yang merupakan provitamin A ini juga telah lama diketahui memiliki bioaktivitas sebagai antioksidan dan antikarsinogenik yang mampu menetralkan radikal bebas (Harborne, 1987). Walaupun

¹⁾ Peneliti pada Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan;
Email: idjanuar@gmail.com

pada alga terdapat beberapa jenis senyawa karotenoid lainnya, akan tetapi pigmen fukosantin merupakan senyawa mayor yang memiliki bioaktivitas antioksidan (Yan *et al.*, 1999). Salah satu makroalga yang memiliki kandungan karotenoid yang tinggi adalah golongan alga coklat yaitu *Turbinaria* sp. Biota ini dapat tumbuh alami di kawasan pesisir Indonesia. Oleh karena itulah, pengembangan *Turbinaria* sp. dengan cara budidaya secara massal dan dilanjutkan dengan pengolahan menjadi bahan baku nutrasetikal dapat menjadi sumber ekonomi alternatif di wilayah pesisir.

Pada alga komersial yang digunakan sebagai bahan pangan seperti agar dan karaginan (kelompok metabolit primer) nutrifikasi air laut telah diketahui sangat berguna dalam mempercepat pertumbuhan budidayanya (Anon., 2008). Oleh karena itu, hal yang sama diduga terjadi juga pada metabolit sekunder seperti fukosantin. Sebagai biota yang hidup di air, produksi metabolit primer maupun sekunder dari makroalga dipengaruhi oleh nutrisi yang mempengaruhi kesuburan perairan. Hal inilah yang mendasari penulisan makalah ini. Sebagai studi kasus, dalam makalah ini dibuat penelaahan korelasi antara konsentrasi senyawa fukosantin dari *Turbinaria* sp. di wilayah perairan pesisir Binuangeun (Banten) dan Krakal (Yogyakarta) dengan kondisi nutrisi dan beberapa parameter kualitas perairan lainnya. Jika korelasi ini diketahui, maka pemilihan area potensial di suatu wilayah pesisir untuk pengembangan nutrasetikal dari alga tersebut dapat diketahui hanya berdasarkan uji parameter kimia airnya, yang relatif lebih cepat dan mudah dibandingkan dengan uji penentuan kadar fukosantin.

SENYAWA FUKOSANTIN DARI ALGA *Turbinaria* sp.

Data senyawa fukosantin diambil berdasarkan pada penelitian Wikanta *et al.* (2004; 2005), dari biota *Turbinaria* sp. (Gambar 1) dengan sebanyak empat kali pengambilan sampel (April dan Agustus pada tahun 2004 serta 2005) dari kawasan pesisir pantai Krakal dan Binuangeun.

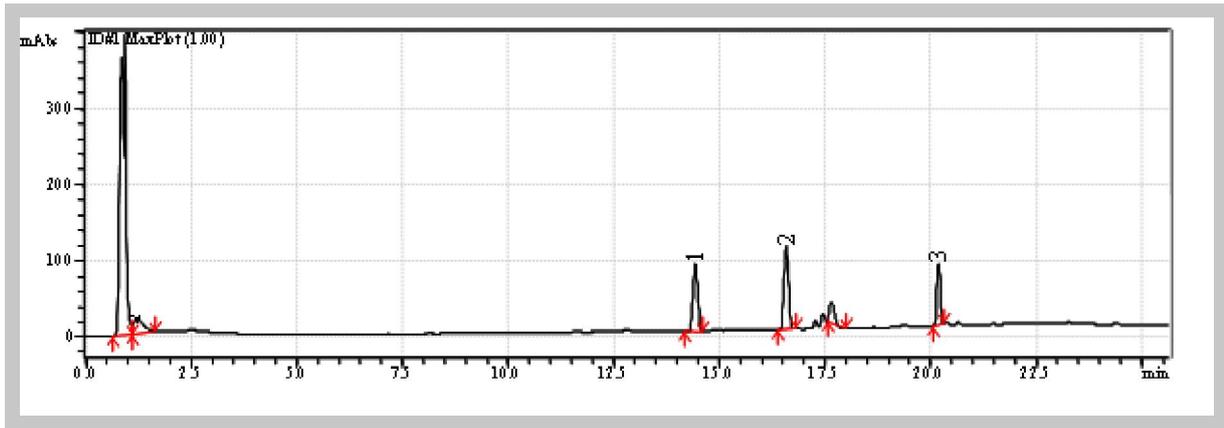
Pada ekstrak kasar dengan menggunakan n-heksana dari *Turbinaria* sp. terdapat aktivitas antioksidan kuat, yang selanjutnya diketahui bahwa sumber dari aktivitas terdapat pada senyawa fukosantin (Wikanta *et al.*, 2005). Chasanah *et al.* (2007) menerangkan bahwa senyawa fukosantin dapat teridentifikasi sebagai puncak di menit ke 20,5 di sistem kromatografi cair kinerja tinggi menggunakan fasa diam C18 dan fasa gerak gradien air dan asetonitril (Gambar 2). Karakteristik spektroskopis dari senyawa ini adalah UV-Vis yang maksimum pada panjang gelombang 440 nm dengan berat molekul m/z 658 (Blunt & Blunt, 2008).

Fukosantin tersebut merupakan senyawa yang terbentuk (biosintesis) dari reaksi desaturasi senyawa *phytoene* yang terbentuk dari GGPP (*Geranyl Geranyl Pyrophosphate*), seperti pada Gambar 3. Konfigurasi struktur fukosantin dapat dilihat pada Gambar 4.

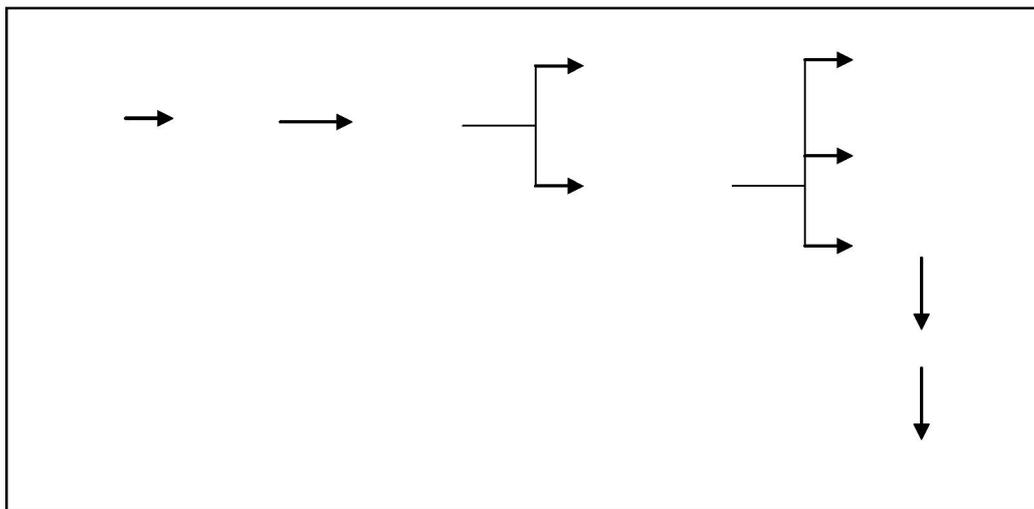
Struktur fukosantin adalah unik, sehingga memiliki bioaktivitas tinggi karena adanya ikatan gugus 5,6-monoepoksida (a dalam Gambar 4) dan ikatan *allenic* yang tidak umum (b dalam Gambar 4) Maeda *et al.*



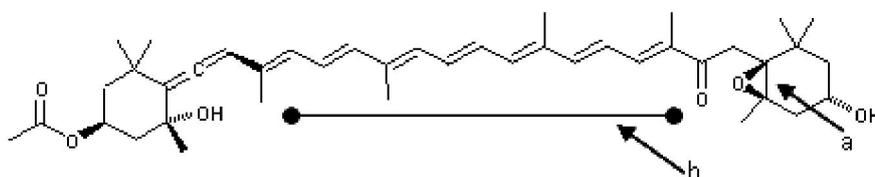
Gambar 1. Biota *Turbinaria* sp.



Gambar 2. Kromatogram senyawa fukosantin (3) dalam fraksi n-heksana *Turbinaria* sp. (Sumber: Chasanah *et al.*, 2007).



Gambar 3. Skema biosintesis fukosantin dari GGPP (Sumber: Liang *et al.*, 2006).



Gambar 4. Struktur senyawa fukosantin dari *Turbinaria* sp. (a: ikatan gugus 5,6-monoepoksida; b: ikatan *allenic* yang tidak umum; Sumber: Blunt & Blunt, 2008).

(2008). Kedua ikatan tersebut diperkirakan dapat menetralkan radikal bebas melalui mekanisme pemecahan rantai bebas dan singlet oksigen *quenching* (Hall & Cuppert 1997 dalam Januar *et al.*, 2004). Kandungan fukosantin diperbandingkan berdasarkan luas area puncaknya pada kromatogram HPLC yang akan sebanding dengan kadarnya (Romero *et al.*, 2004). Luas area puncak fukosantin dari fraksi n-heksana *Turbinaria* sp. Binguangeun dan Krakal dapat dilihat pada Tabel 1.

Luas area puncak pada suatu kromatogram akan sebanding dengan konsentrasi senyawa yang bersesuaian (Srinubabu *et al.*, 2006). Oleh karena itulah jika dibandingkan, maka luas area fukosantin akan sebanding dengan perbandingan konsentrasi senyawa tersebut pada masing-masing sampel (Tabel 1). Pada penelitian tersebut, %RSD (*Relative Standard Deviation*) dari tiap ulangan analisis area fukosantin dari masing-masing sampel cukup besar. Secara teoritis, tingginya nilai ketidakpastian pada proses

Tabel 1. Luas area puncak fukosantin dari ekstrak kasar n-heksana *Turbinaria* sp. Binuangeun dan Krakal

Lokasi	Waktu sampling	Area Fukosantin			Rata-rata	SD	%RSD
		1	2	3			
Binuangeun	Agustus 2004	33,425	25,432	30,145	29,667	4017,85	13,54
	Juli 2005	38,761	31,342	29,432	33,178	4928,15	14,85
Krakal	Agustus 2004	102,034	95,431	124,532	107,332	15256,84	14,21
	April 2005	70,656	67,549	54,318	64,174	8676,05	13,52

Sumber: Wikanta *et al.* (2004; 2005).

penetapan area puncak kromatogram mengakibatkan variasi hasil analisis yang cukup besar. Variasi tersebut dapat bersumber dari beberapa macam faktor ketidakpastian. Pada analisis spektroskopi, faktor efisiensi ekstraksi serta derivatisasi merupakan faktor yang sulit dikontrol dan dapat menyebabkan perbedaan yang cukup besar (Romero *et al.*, 2004). Hal inilah yang menyebabkan secara umum nilai %RSD dari ulangan masing-masing perlakuan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 lebih dari 10%.

Namun, pengujian Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antara tiap ulangan ($P = 0,694$), sehingga penelaahan korelasi layak dilakukan.

KUALITAS PERAIRAN PANTAI BINUANGEUN DAN KRAKAL

Secara umum, analisis parameter perairan yang diambil dari habitat *Turbinaria* sp. yaitu salinitas, pH,

Tabel 2. Parameter lingkungan lokasi pengambilan sampel di Pantai Binuangeun dan Krakal

Lokasi	Waktu sampling	Ulangan	Salinitas (ppt)	pH	Suhu ($^{\circ}$ C)	Fosfat (ppm)	Nitrat (ppm)	Nitrit (ppm)	Amonia (ppm)
Binuangeun	Agustus 2004	1	33	8,00	29	<0,001	0,020	<0,001	<0,001
		2	33	8,20	29	<0,001	0,010	<0,001	<0,001
		3	33	8,10	29	<0,001	0,020	<0,001	<0,001
	Juli 2005	1	33	8,40	29	<0,001	0,020	<0,001	<0,001
		2	33	8,30	29	<0,001	0,020	<0,001	<0,001
		3	33	8,30	29	<0,001	0,010	<0,001	<0,001
Krakal	Agustus 2004	1	33	8,55	29	0,110	0,070	0,007	0,080
		2	33	8,53	29	0,120	0,100	0,007	0,090
		3	33	8,55	29	0,140	0,060	0,007	0,090
	April 2005	1	33	8,20	28	0,080	0,010	0,006	0,002
		2	33	8,10	27	0,100	0,010	0,003	0,002
		3	33	8,10	26	0,070	0,020	0,006	0,001

Sumber: Wikanta *et al.* (2004; 2005).

dan suhu tidak berbeda jauh antara kedua lokasi dan waktu pengambilan sampel (Tabel 2). Perbedaan mendasar di antara kedua lokasi adalah tingkat nutrisi yang ada di lingkungannya. Tingkat nutrisi untuk fosfat umumnya tidak lebih dari 0,1 ppm, amonia tidak melebihi 0,02 ppm, nitrat tidak melebihi 0,1 ppm, dan nitrit tidak melebihi 0,001 ppm (Effendi, 2003). Perairan Pantai Binuangeun, pada saat pengambilan sampel di bulan Agustus 2004 maupun Juli 2005 terlihat miskin akan unsur hara. Sedangkan nutrisi di Pantai Krakal menunjukkan tingkat nutrisi yang lebih dari tingkat normal perairan laut.

Penelaahan berdasarkan analisis komponen utama dari data pada Tabel 2 dilakukan dengan merujuk pada metode perhitungan SPSS Ver 15 (Anon., 2006) terhadap 6 variabel (salinitas dikeluarkan karena tidak memiliki variasi antar lokasi pengambilan sampel) dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 3.

Secara kumulatif terdapat dua komponen utama dengan total merupakan 92,61% penyebab variasi antara lokasi pengambilan sampel. Komponen pertama (65,97%) berkorelasi kuat dengan pH, fosfat, nitrat, nitrit, dan amonia. Sementara komponen kedua (26,64%) berkorelasi kuat terhadap suhu. Kelima variabel dalam komponen pertama (pH, fosfat, nitrat, nitrit, dan amonia) dapat merujuk pada variabel-variabel parameter kimia perairan, sementara komponen kedua (suhu) dapat merujuk pada fisika perairan. Sementara komponen ketiga hingga keenam merupakan variasi variabel-variabel uji yang tidak berpengaruh besar terhadap perbedaan karakteristik lokasi pengambilan sampel. Berdasarkan analisis komponen utama, maka dapat diketahui bahwa dari variasi faktor lokasi dan waktu pengambilan sampel *Turbinaria sp.* terdapat perbedaan komposisi parameter air, khususnya parameter kimia perairan, utamanya perbedaan tingkat

nutrien, seperti fosfat, nitrat, nitrit, dan amonia. Melalui adanya perbedaan tingkat nutrisi antar lokasi dan waktu pengambilan sampel tersebut, maka dimungkinkan untuk diketahui pengaruhnya terhadap kadar fukosantin melalui uji korelasi.

KORELASI KADAR FUKOSANTIN *Turbinaria sp.* TERHADAP PARAMETER AIR

Tahapan awal pengujian korelasi adalah mengetahui normalitas data, sehingga dapat ditentukan apakah pengujian parametrik atau non-parametrik dapat dilakukan. Hasil analisis *Skewness* dan *Kurtosis* terhadap data area puncak fukosantin menunjukkan bahwa data adalah normal, dengan masing-masing nilai adalah 0,848 (SD = 0,637) dan -0,537 (SD = 1,232). Jika data selaras dengan kurva normal, maka secara umum memiliki nilai *Skewness* dan *Kurtosis* yang tidak melebihi dua kali dari nilai standar deviasinya (Anon., 2006). Hal ini diperkuat dengan pengujian terhadap *Kolmogorov-Shirmov* yang menunjukkan bahwa kurva data area puncak fukosantin tidak berbeda nyata dengan kurva normal (P = 0,772). Berdasarkan ketiga hasil uji tersebut, maka penelaahan lanjut terhadap data konsentrasi fukosantin dapat dilakukan menggunakan uji parametrik ANOVA (*Analysis of Variance*) dan regresi.

Hasil analisis ANOVA dari variasi dua tempat dan waktu pengambilan sampel menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara area puncak fukosantin berdasarkan lokasi (P = $7,99 \times 10^{-6}$), waktu pengambilan (P = 0,006), dan interaksi keduanya (0,003). Hal ini menunjukkan bahwa kadar fukosantin dapat berbeda di lokasi pengambilan sampel yang berbeda, juga akan berfluktuasi di tiap waktu. Perbedaan ini, seperti pada dugaan sebelumnya,

Tabel 3. Analisis komponen utama terhadap data parameter lingkungan lokasi pengambilan sampel di pantai Binuangeun dan Krakal

Komponen	Variasi (%)	Kumulatif (%)	Komponen berkorelasi terhadap Variabel
1	65,97	65,97	pH (R=0,823), fosfat (R=0,862), nitrat (R=0,921), nitrit (R=0,862), dan amonia (R=0,975)
2	26,64	92,61	suhu (R=0,965)
3	3,78	96,39	
4	2,26	98,65	
5	1,07	99,72	
6	0,28	100,00	

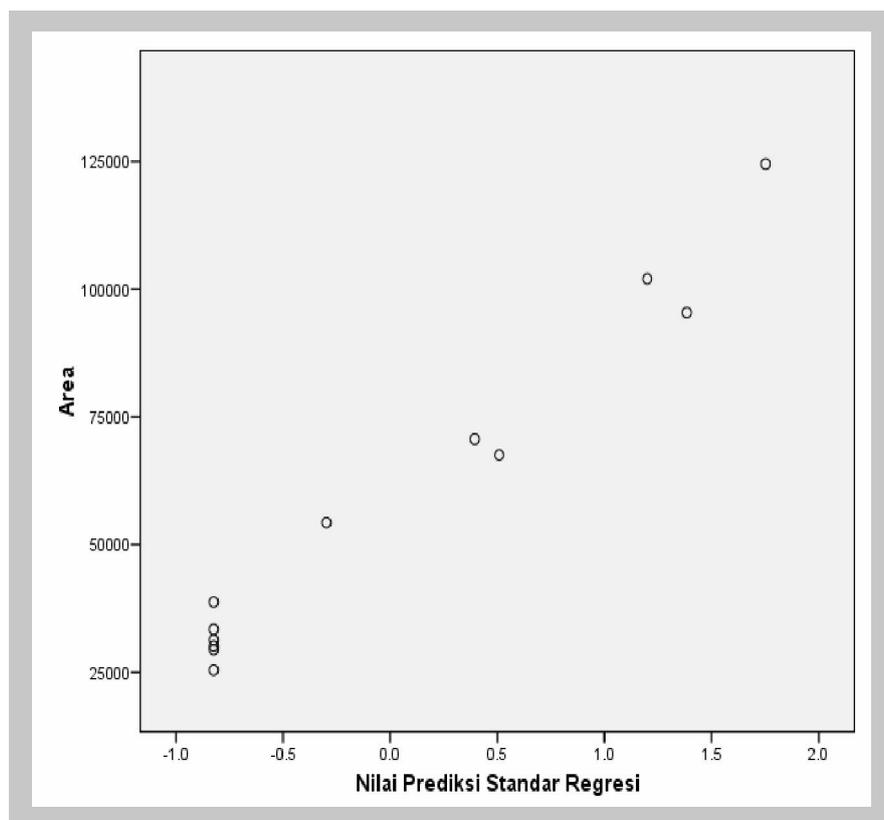
dapat terjadi akibat perbedaan parameter kimia di perairan, terutama kandungan nutrisi yang terdapat di dalamnya. Pada analisis regresi *stepwise*, dapat diketahui bahwa dari keseluruhan parameter yang diuji, interaksi kandungan fosfat dan suhu dapat menjadi prediktor yang berkorelasi kuat ($R = 0,986$) dan signifikan ($P = 1,09 \times 10^{-7}$) bagi fukosantin seperti terlihat pada Gambar 5.

Fungsi matematika dari grafik area puncak fukosantin di kromatogram KCKT terhadap konsentrasi fosfat dan suhu adalah luas area fukosantin = $608054 [\text{fosfat}] + 8388,203 [\text{suhu}] - 211892$.

Pada persamaan linear persamaan fungsi fukosantin terhadap fosfat dan suhu yang diperoleh dari telaah regresi, fosfat menjadi prediktor utama dengan koefisien determinan yang tinggi ($R^2 = 0,906$), sementara interaksi terhadap suhu menjadi prediktor selanjutnya sehingga total determinan fungsi menjadi 0,965. Oleh karena itu, produksi pigmen fukosantin *Turbinaria* sp. di Binuangeun dan Krakal lebih atau mengikuti selaras dengan kadar fosfat dibandingkan dengan nitrogennya. Faktor lainnya, seperti umur thalus muda yang diduga memiliki kadar fukosantin lebih tinggi, juga dapat menjadi pengaruh. Namun,

hasil penelaahan regresi menunjukkan bahwa faktor tersebut nilainya rendah, yaitu 3,45%, yang diperoleh dari hasil pengurangan 100% terhadap nilai determinan fungsi (96,5%). Hal ini dapat dimungkinkan karena homogenitas umur *Turbinaria* sp. yang terdapat antara satu sampel dengan sampel lainnya.

Secara umum, kandungan kimia perairan, terutama nutrisi fosfat dan nitrogen, merupakan unsur hara yang berperan penting di dalam pertumbuhan alga (Glibert *et al.*, 1995). Nutrifikasi kadar fosfat dan nitrogen yang tinggi akan membuat pertumbuhan alga yang cepat, atau dikenal juga dengan *algae blooming*. Pada perairan laut, kadar fosfat diketahui sebagai pembatas pertumbuhan alga (Efendi, 2003). Sementara untuk konsentrasi pigmen, diprediksi bahwa unsur hara yang berpengaruh adalah keberadaan nitrogen total yang terdapat di lingkungannya (Rosenberg & Ramus, 1982). Regresi yang diperoleh menemukan bahwa pigmen fukosantin di perairan Binuangeun dan Krakal hanya terpengaruh oleh kandungan fosfat, bukan nitrogen. Perbedaan ini diduga disebabkan karena alga *Turbinaria* sp. yang diuji merupakan alga laut, sehingga hasil analisis lebih selaras dengan pembatas pertumbuhannya. Pada flora air tawar, dengan pembatas pertumbuhan kandungan



Gambar 5. Grafik nilai prediksi standar regresi fosfat dan suhu terhadap luas area fukosantin dari *Turbinaria* sp. Perairan Binuangeun dan Krakal.

nitrogen (Liangfeng *et al.*, 1990), maka dapat diprediksi hasil analisis kandungan pigmen fukosantin lebih dipengaruhi oleh kadar nitrogen perairannya.

Di samping itu, faktor fisika perairan juga dapat berpengaruh terhadap keberadaan pigmen. Faktor yang utama adalah tingkat radiasi sinar ultraviolet matahari, karena pigmen karotenoid berfungsi sebagai anti radikal bebas bagi produsennya (Denault *et al.*, 2000). Oleh karena tingkat intensitas matahari akan bervariasi tergantung musim, hal ini juga akan menyebabkan tingkat konsentrasi pigmen pada alga berfluktuasi (Glibert *et al.*, 1995). Diduga, fluktuasi intensitas matahari pada perbedaan musim tersebut akan selaras dengan faktor suhu, sehingga teridentifikasi pada regresi yang memiliki pengaruh terhadap luas area fukosantin dalam kromatogram.

Berdasarkan hasil ini, maka area di wilayah pesisir yang berpotensi untuk pengembangan produksi bahan baku nutrasetikal dari *Turbinaria* sp. dapat diprediksi. Nutrifikasi kadar fosfat secara umum dapat berasal dari limpasan pupuk dalam saluran air pertanian ke muara. Oleh karena itu, jika budidaya ditempatkan di muara limpasan, maka akan didapat keuntungan secara ekonomi karena pertumbuhan lebih cepat dan produksi pigmen target lebih tinggi. Selain itu, secara ekologis juga akan menguntungkan, karena terserapnya fosfat oleh alga akan meminimalisir dampak berbahaya nutrifikasi air laut bagi terumbu karang di wilayah estuaria.

PENUTUP

Korelasi antara kandungan senyawa fukosantin terhadap parameter air laut merupakan fungsi linear dari interaksi kadar fosfat dan suhu. Oleh karena itu, wilayah limpasan pertanian yang mengandung kadar fosfat tinggi dapat menjadi area yang berpotensi untuk pengembangan produksi bahan baku nutrasetikal fukosantin dari *Turbinaria* sp. di wilayah pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous. 2006. *Help Topics on SPSS Ver 15*. SPSS Inc 1989–2006. US.

Anonymous. 2008. *Future prospects for seaweeds industry*. fisheries and aquaculture department–FAO. <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3550E/Y3550E05.htm>. Diakses pada tanggal 28 Juni 2010.

Anonymous. 2009. *Fucopure@10% fukosantin*. <http://www.fucopure.com>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2010.

Anonymous. 2010^a. *NSI fucoxanthin with Pinno Thin™-Stimulant Free-120 Softgels*, nutraceutical science institute. <http://www.gonsi.com/products/product-detail.cfm/sku-835003008964>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2010.

Anonymous. 2010^b. *FücoTHIN® by Garden of Life, eVitamins*. <http://www.evitamins.com/product.asp?pid=8967#>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2010.

Blunt, J.W. and Blunt, D.A. 2008. *MarinLit-Marine Literature Database*. Version # vpc13.5. Devised by Munro, M.H.G. & Blunt, J.W. Maintained at various time by Hickford, S.J.H., Vigneswaran, M., Celestine, Unger, R. E., Hu, S. Marine Chemistry Group, Department of Chemistry-University of Caterbury. Christchurch, New Zealand.

Chasanah, E., Wikanta, T., Amini, S., Nursid, M., Fajarningsih, N.D., Marraskuranto, E., dan Januar, H.I. 2007. Riset Isolasi dan Uji Farmakologi Senyawa Bioaktif dari Biota Laut. *Laporan Teknis 2007. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Departemen Kelautan dan Perikanan.

Denault, M., Stieve, E., and Valiela, I. 2000. Effect of nitrogen load and irradiance on photosynthetic pigment concentration in cladophora vagabunda and gracilaria tivahiae in estuaries of waquoit bay. *Biology Bulletin* 199: 223–225.

Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Glibert, P.M., Conley, D.J., Fisher, T.R., Harding, L.J.Jr., and Malone, T.C. 1995. Dynamic of the 1990 winter/spring bloom in chesapeake bay. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 27–43.

Harborne. J.B. 1987. *Metode Fitokimia-Penuntun Cara Modern Menganalisis tumbuhan*. Penerjemah Padmawinata, K. dan Soediro I. Edisi kedua. Penerbit ITB. Bandung. p. 6–7.

Januar, H.I., Wikanta, T., dan Nursid, M. 2004. Metode uji radikal bebas 2,2-diphenyl pikril hidrazil (DPPH) dalam eksplorasi bioaktivitas antioksidan dari rumput laut. *Warta Penelitian Perikanan Indonesia Edisi Pasca Panen*, 10 (7): 5–9.

Liangfeng, D., Guanheng, L., and Chaoyuan, W. 1990. Effect of NH₄ Non the pigment content of laminaria japonica. *Chin. J. Oceanology Limnology*, 8 (2): 128–134.

Liang, C., Zhao, F., Wei, W., Wen, Z., and Qin, S. 2006. Carotenoid Biosynthesis in Cyanobacteria: Structural and Evolutionary Scenarios Based on Comparative Genomics. *International Journal of Biological Sciences* 2 (4): 197–207.

Maeda, H., Tsukui, T., Sashima, T., Hosokawa, M., and Miyashita, K. 2008. Seaweed carotenoid, fucoxanthin, as a multi-functional nutrient. *Asia Pacific Journal of Clinical and Nutrition*, 17 (Supplement 1): 196–199.

Romero, R., Bagur, M.G., Gazquez, D., Sanchez-Vinas, M., Cuadros-Rodriguez, L., and Ortega, M. 2004. Estimation of the Main Source of Uncertainty in Chromatographic Analysis: Determination of Biogenic Amines. *LCGC The Application Notebook: Supplement To LCGC North America*, June: 95–103.

- Rosenberg, G. and Ramus, J. 1982. Ecological Growth Strategies in the Seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): Photosynthesis and Antenna Composition. *Marine Ecology Progress Series*, Vol 8: 233-241.
- Srinubabu, G., Jaganbabu, K., Sudharani, B., Venugopal, K., Girizasankar, G., and Rao, J.V.L.N.S. 2006. Development and Validation of a LC Method for the Determination of Pramipexole Using an Experimental Design. *Chromatographia*, Vol 64: 95-100.
- Wikanta, T., Suryaningrum, D., Sugiyono., Januar, H.I., Nursid, M., Munifah, I., Kardono, B., dan Hardjito, L. 2004. Riset Ekstraksi Senyawa Bioaktif dari Biota Perairan. *Laporan Teknis Pusat Riset Pengolahan Produk dan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*. Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Wikanta, T., Suryaningrum, D., Sugiyono., Januar, H.I., Nursid, M., Munifah, I., Fajarningsih, N.D., dan Krisnawang, H. 2005. Riset Ekstraksi Senyawa Bioaktif dari Biota Perairan. *Laporan Teknis Pusat Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Yan, X., Chuda, Y., Suzuki, M., and Nagata, T. 1999. Fucoxanthin as the Major Antioxidant in *Hijikia fusiformis*, a Common Edible Seaweed. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol 63(3): 605-607.