

Efek Panjang Gelombang Terhadap Pertumbuhan Propagul Pada Kultur Jaringan *Eucheuma cottonii* Doty, 1885 (Rhodophyceae; Solieraceae)

Wilis Ari Setyati^{1*}, Rini Pramesti¹, Delianis Pringgenies¹, Chrisna Adhi Suryono¹, Irwani¹, Muhammad Zainuddin²

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang 50275 Indonesia

²Program Studi Akuakultur, Fakultas Sain Dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara
Jl. Taman Siswa, Pekeng, Tahunan, Jepara, Jawa Tengah 59451 Indonesia
Email: wilisarisetiyati@yahoo.co.id

Abstract

The Effect of Wavelength on Growth of Propagule *Eucheuma cottonii* Doty Tissue Culture, 1885 (Rhodophyceae; Solieraceae)

The problem in cultivating *Eucheuma cottonii* is the procurement of seeds and techniques currently developed through tissue culture. The limiting factor in this technique is the use of optimal light for the growth of the seaweed. The aims of study was to optimize the wavelength of light on the growth of *E. cottonii* propagules. The research method is laboratory experimental with the treatment of different wavelengths of light: red light wavelength ($\lambda = 633.8$ nm), green ($\lambda = 515.8$ nm), blue ($\lambda = 455.7$ nm), combined light on the lamp LED ($\lambda = 456.6$ nm, 515.8 nm and 632.9 nm), and fluorescent light in TL lamps ($\lambda = 407$ nm, 443 nm, 557 nm and 592 nm). The results showed that the wavelength had a significant effect ($p \leq 0.05$) on the growth of *E. cottonii*. The best treatment for blue light with absolute, relative and specific growth values of propagule weight of 155 ± 11.910 mg, $419 \pm 70.849\%$, and $5.860 \pm 0.501\%$ / day. The absolute, relative and specific growth values for propagule diameter were 701 ± 123.1 mm, $63 \pm 12\%$ and $1.73 \pm 0.27\%$ / day. The percentage of branching growth and the branching index were $60.85 \pm 9.16\%$ and 27.77 ± 1.23 . Blue light treatment is optimal radiation in the *E. cottonii* tissue culture

Keywords: light; growth; propagul

Abstrak

Permasalahan dalam budidaya *Eucheuma cottonii* adalah pengadaan bibit dan teknik yang berkembang saat ini melalui kultur jaringan. Faktor pembatas dalam teknik ini adalah penggunaan cahaya yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut. Penelitian bertujuan untuk melakukan optimasi panjang gelombang cahaya terhadap pertumbuhan propagul *E. cottonii*. Metode penelitian secara experimental laboratoris dengan perlakuan perbedaan panjang gelombang cahaya : panjang gelombang lampu cahaya merah ($\lambda = 633,8$ nm), hijau ($\lambda = 515,8$ nm), biru ($\lambda = 455,7$ nm), cahaya gabungan pada lampu LED ($\lambda = 456,6$ nm, 515,8 nm dan 632,9 nm), dan cahaya flourescent pada lampu TL ($\lambda = 407$ nm, 443 nm, 557 nm dan 592 nm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang gelombang berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap pertumbuhan *E. cottonii*. Perlakuan terbaik pada cahaya biru dengan nilai pertumbuhan mutlak, relatif dan spesifik bobot propagul sebesar $155 \pm 11,910$ mg, $419 \pm 70,849\%$, dan $5,860 \pm 0,501\%$ /hari. Nilai pertumbuhan mutlak, relatif dan spesifik diameter propagul sebesar $701 \pm 123,1$ mm, $63 \pm 12\%$ dan $1,73 \pm 0,27\%$ /hari. Persentase pertumbuhan percabangan dan indeks percabangan sebesar $60,85 \pm 9,16\%$ dan $27,77 \pm 1,23$. Perlakuan sinar biru merupakan penyinaran optimal dalam kultur jaringan *E. cottonii*.

Kata kunci: cahaya; pertumbuhan; propagul

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah penghasil rumput laut terbesar di daerah tropis dan nomor dua setelah China (FAO, 2014 dan FAO, 2018). Budidaya rumput laut secara komersial dimulai tahun 1987 di Bali dan pada tahun 2007 Indonesia telah menggantikan Filipina sebagai penghasil karagenan (FAO, 2014; Bixler & Porse, 2011). Meningkatnya produksi karagenan disebabkan meningkatnya jumlah petani dan luas lahan budidaya bukan karena produktifitasnya yang tinggi (Bixler & Porse, 2011; Neish 2013). *Euचेuma* hidup di seluruh kawasan Indo-Pasifik dari Afrika Timur, Guam, perairan Cina dan Jepang dan sebagian besar di daerah terumbu karang di pulau-pulau di Asia Tenggara (Doty, 1987). Rumput laut sekarang banyak diteliti karena tingginya kandungan polisakarida, rata-rata kandungan karbohidrat antar 30 – 80% dari berat kering (Bouanati *et al.*, 2020). Rumput laut merupakan reservoir biomolekul yang tidak ada habisnya dengan berbagai fungsi dan komponen agar yang berbeda seperti protein, vitamin, mineral, karbohidrat, pigmen dan lemak yang saat ini menjadi alternatif industri makanan, kosmetik maupun farmasi (Yakob *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2017). Peningkatan kebutuhan alga coklat di dunia karena digunakan untuk keperluan produksi makanan, farmasi maupun sintesa produk lain seperti anti mikroba dan patogen dan bahan bakar (biofuel) (Zemke-White & Ohno, 1999; FAO, 2012; Vatsos & Rebours, 2015; Thanigaivel *et al.*, 2016). Peningkatan kebutuhan rumput laut jenis alga coklat seperti *Euचेuma* maupun *Gracilaria* hanya dapat dipenuhi melalui usaha budidaya baik di laut maupun di tambak (Suryono *et al.*, 2020). Peningkatan kebutuhan rumput laut budidaya telah berkembang beberapa decade terakhir. Jumlah rumput laut yang dibudidayakan meningkat dari 6,5 juta ton pada tahun 2001 menjadi 15,5 juta ton pada tahun 2010. Nilai rumput laut pada tahun tersebut meningkat dari US \$ 1.768 juta menjadi US \$ 4.143 kontribusi dari rumput laut merah (57%) dan coklat (43%) (FAO, 2013; Ghadiryantar, 2016).

Peningkatan budidaya rumput laut yang semakin meningkat untuk kebutuhan industri tentunya harus diikuti ketersediaan

bibit baik secara vegetative maupun generative. Permasalahan dalam budidaya salah satunya adalah ketersediaan bibit yang mempunyai kualitas bagus (Suryati & Mulyaningrum, 2009). Salah satu teknik menyediakan bibit secara vegetative adalah dengan kultur jaringan. Kultur jaringan memiliki keunggulan diantaranya dapat diproduksi dalam jumlah banyak dan tidak tergantung musim (Yokoya & Yoneshigue-Valentin, 2011). Bibit selalu tersedia, identik dengan induknya, kesehatan bibit lebih terjamin, dan dapat tumbuh dengan cepat saat dibudidaya (Yildiz, 2012). Bibit unggul telah banyak didapatkan dari cara kultur jaringan (Mulyaningrum *et al.*, 2012; Sulistiani *et al.*, 2012). Keberhasilan budidaya rumput laut tidak hanya oleh bibit namun juga oleh kondisi lingkungan seperti salinitas, cahaya, suhu maupun nutrient. Faktor cahaya sangat berpengaruh dalam penyediaan bibit secara kultur jaringan terutama untuk pertumbuhan dan produksi bibit. Namun cahaya sendiri memiliki banyak panjang gelombang dan tidak semuanya dapat digunakan oleh tumbuhan (Hurd *et al.*, 2014). Beberapa penelitian gelombang cahaya terhadap rumput laut telah dilakukan. Panjang gelombang cahaya berpengaruh pada efisiensi fotosintesis *Houttuynia cordata* (Wang *et al.*, 2015). Cahaya juga berpengaruh terhadap nilai pertumbuhan *Undaria pinnatifida* (Takahide *et al.*, 2017). Cahaya dengan berbagai warna dengan panjang gelombang tertentu berpengaruh terhadap nilai pertumbuhan dan fitokimia *Pyropia haitanensis* (Wu, 2016). Aplikasi cahaya sudah dilakukan pada beberapa rumput laut namun belum pernah dilakukan pada *E. cottonii*, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang cahaya optimal dalam kultur jaringan *E. cottonii*

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan propagul rumput laut *E. cottonii* hasil kultur jaringan dari Laboratorium SEAMEO Bogor. Induk diperoleh dari petani rumput laut di Kabupaten Natuna, Propinsi Kepulauan Riau. Kultur dalam penelitian ini menggunakan air laut steril 30 ppt dan media air laut yang diperkaya (Pramesti, 2013). Propagul *E. cottonii* yang digunakan adalah hasil aklimatisasi yang

sehat, tidak terdapat bercak, tidak terkelupas, talus elastis dan seragam. Propagul dipelihara dalam botol duran dengan kepadatan 10 propagul, media 500 ml, media air laut diperkaya 20 ml/l, salinitas 30-32 ppt, suhu 24-25 °C, pH 7,5-8, biomassa awal 0,2±0,05 g. Pemeliharaan diberikan aerasi, penyinaran cahaya gelap : terang = 12 : 12 jam dengan intensitas 2500 lux.

Perlakuan penelitian berupa panjang gelombang dan masing perlakuan dengan empat ulangan. Jenis perlakuannya adalah lampu cahaya merah ($\lambda = 633,8$ nm), lampu cahaya hijau ($\lambda = 515,8$ nm), lampu cahaya biru ($\lambda = 455,7$ nm), cahaya gabungan pada lampu LED ($\lambda = 456,6$ nm, 515,8 nm dan 632,9 nm), dan cahaya fluorescent pada lampu TL ($\lambda = 407$ nm, 443 nm, 557 nm dan 592 nm). Parameter yang diamati seperti: (1) Pertumbuhan mutlak dan relatif propagul rumput laut *E. cottonii* (Hendri *et al.*, 2017). (2) Pertumbuhan spesifik (SGR) propagul rumput laut *E. cottonii*. (3) Pengamatan dan pengukuran diameter propagul (Fadilah & Dhini, 2016). Data yang diperoleh dilakukan analisa ragam dengan menggunakan SPSS 16.0. Analisis regresi digunakan untuk melihat hubungan antara panjang gelombang 455,7 nm (biru), 515,8 nm (hijau) dan 633,8 nm (merah) terhadap respon propagul dan melihat hubungan antara persentase komposisi warna biru pada perlakuan yaitu 32 % (fluorescent), 61 % (gabungan / LED) dan 100 % (lampu biru) terhadap respon propagul.

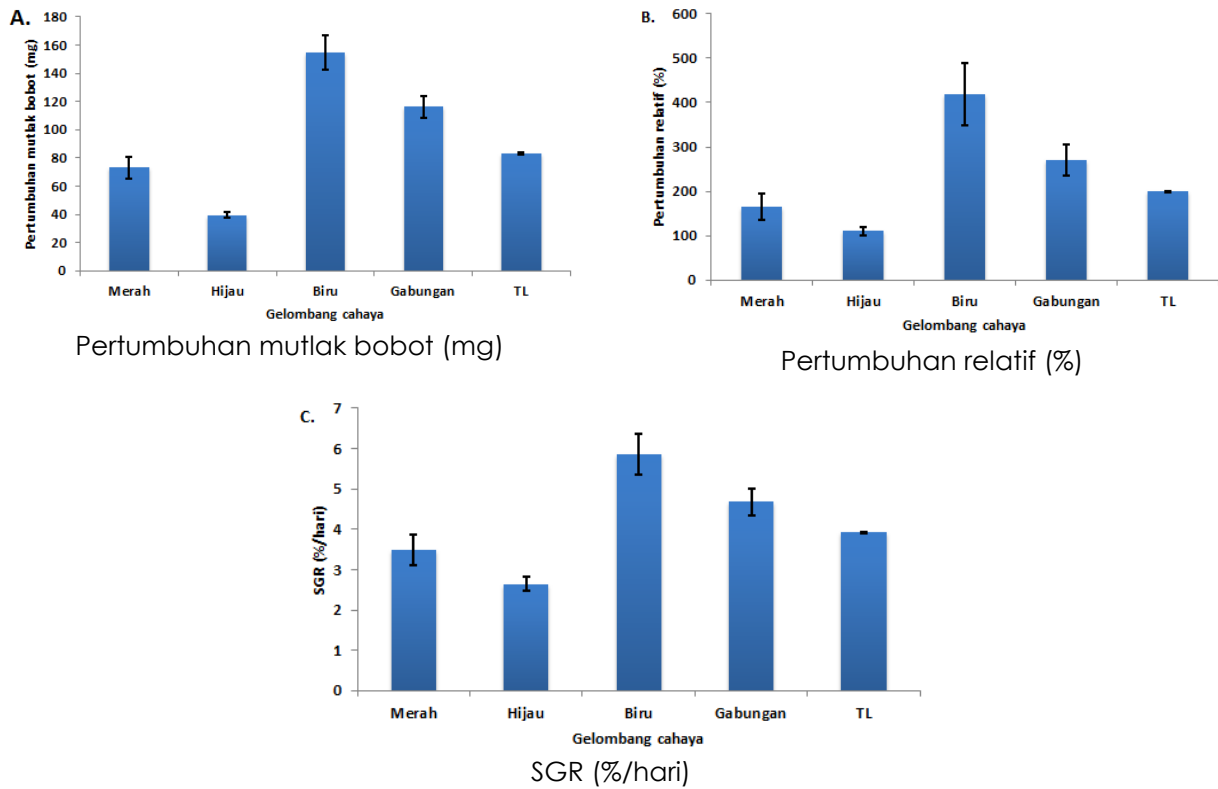
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat propagul merupakan parameter biometri yang digunakan untuk mendiskripsikan pertumbuhan rumput laut. Data tersebut selanjutnya dihitung pertumbuhan mutlak, relatif dan spesifik. Hasil perhitungan rata-rata pertumbuhan mutlak, pertumbuhan relatif dan laju pertumbuhan spesifik propagul *E. cottonii* (Gambar 1). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan perbedaan panjang gelombang cahaya berpengaruh secara signifikan ($p \leq 0,05$) terhadap pertumbuhan mutlak. Selang data pertumbuhan mutlak antara 34,6 - 145,4 mg. Hasil uji Duncan menunjukkan perbedaan respon pertumbuhan yang nyata ($p \leq 0,05$) pada setiap perlakuan. Jika data rata-rata

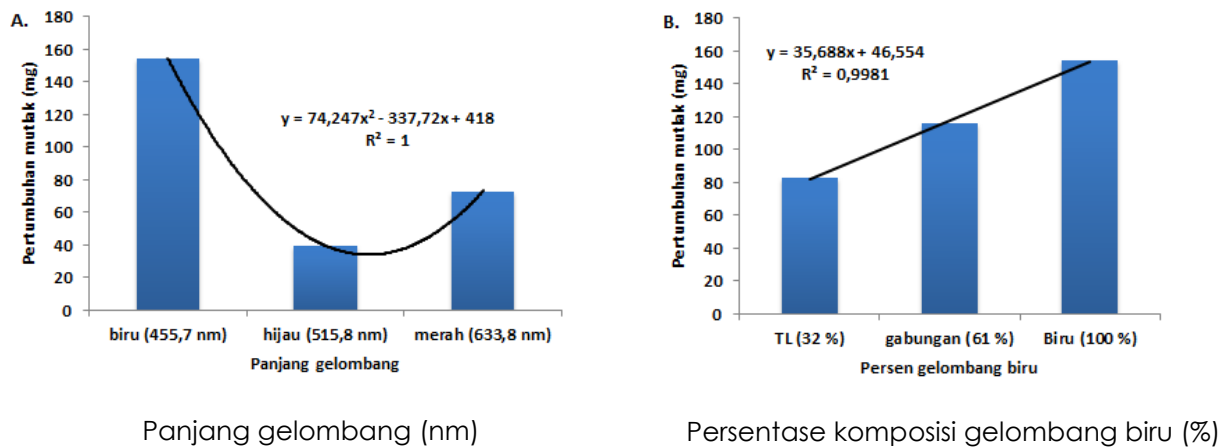
pertumbuhan mutlak bobot di urutkan dari tertinggi ke terendah adalah cahaya biru sebesar 145,4±14,0 mg, cahaya dengan lampu LED (114,1±7,2 mg), cahaya dengan lampu fluorescent (84,9±3,4 mg), cahaya merah (71,8±2,3 mg), cahaya warna hijau (34,6±3,7 mg).

Pertumbuhan bobot mutlak propagul merupakan pertambahan bobot karena bertambahnya sel yang selanjutnya menjadi jaringan. Jaringan akan membentuk organ dan ini dapat menambah bobot biomassa. Fotosintesis menghasilkan oksigen dan karbohidrat sebagai bahan penyusun sel dan cadangan makanan. Semakin tinggi fotosintesis yang maka pertumbuhan akan meningkat. Hal ini sesuai (Hurd *et al.*, 2014) kloroplast mengandung beberapa pigmen diantaranya klorofil a yang berfungsi menyerap cahaya biru-violet dan merah. Cahaya digunakan tumbuhan dalam proses fotosintesis, dengan intensitas cahaya yang cukup maka perubahan senyawa anorganik menjadi senyawa organik juga akan berlangsung optimal dan pertumbuhannya menjadi lebih cepat (Pramesti, 2013). Ditambahkan Wu (2016) panjang gelombang cahaya mempengaruhi nilai pertumbuhan dan fitokimia alga.

Perlakuan perbedaan panjang gelombang cahaya dalam kultur berpengaruh secara signifikan ($p \leq 0,05$) terhadap pertumbuhan relatif dan laju pertumbuhan spesifik (SGR) propagul. Data pertumbuhan relatif yang didapatkan memiliki selang 110–419 % dan SGR dengan selang 2,649–5,860 %/hari. Uji Duncan menunjukkan respon pertumbuhan relatif dan SGR adalah berbeda nyata ($p \leq 0,05$) pada setiap perlakuan. Respon pertumbuhan relatif tertinggi dan SGR tertinggi adalah pada perlakuan pemberian pencahayaan warna biru yaitu sebesar 419±70,849 % dan 5,860±0,501 %/hari. Respon pertumbuhan relatif tertinggi dan SGR tertinggi pada perlakuan cahaya hijau yaitu 110±10,670 % dan 2,649±0,183 %/hari. Berdasarkan data pertumbuhan mutlak, relatif dan SGR tersebut diduga terdapat hubungan antara perlakuan penyinaran terhadap respon pertumbuhan. Hasil analisis regresi antara perlakuan terhadap respon (Gambar 2).



Gambar 1. Pengaruh panjang gelombang terhadap pertumbuhan propagul



Gambar 2. Hubungan panjang gelombang terhadap pertumbuhan propagul

Berdasarkan analisis regresi antara panjang gelombang 455,7 nm (biru), 515,8 nm (hijau) dan 633,8 nm (merah) terhadap respon pertumbuhan mutlak propagul menunjukkan adanya hubungan regresi non linier berbentuk parabola negatif yaitu semakin tinggi panjang gelombang maka pertumbuhan mutlak

semakin turun dan selanjutnya pertumbuhan mutlak kembali mengalami kenaikan. Pertumbuhan mutlak tertinggi terdapat pada cahaya biru.

Hasil uji regresi linier pada persentase komposisi warna biru pada perlakuan

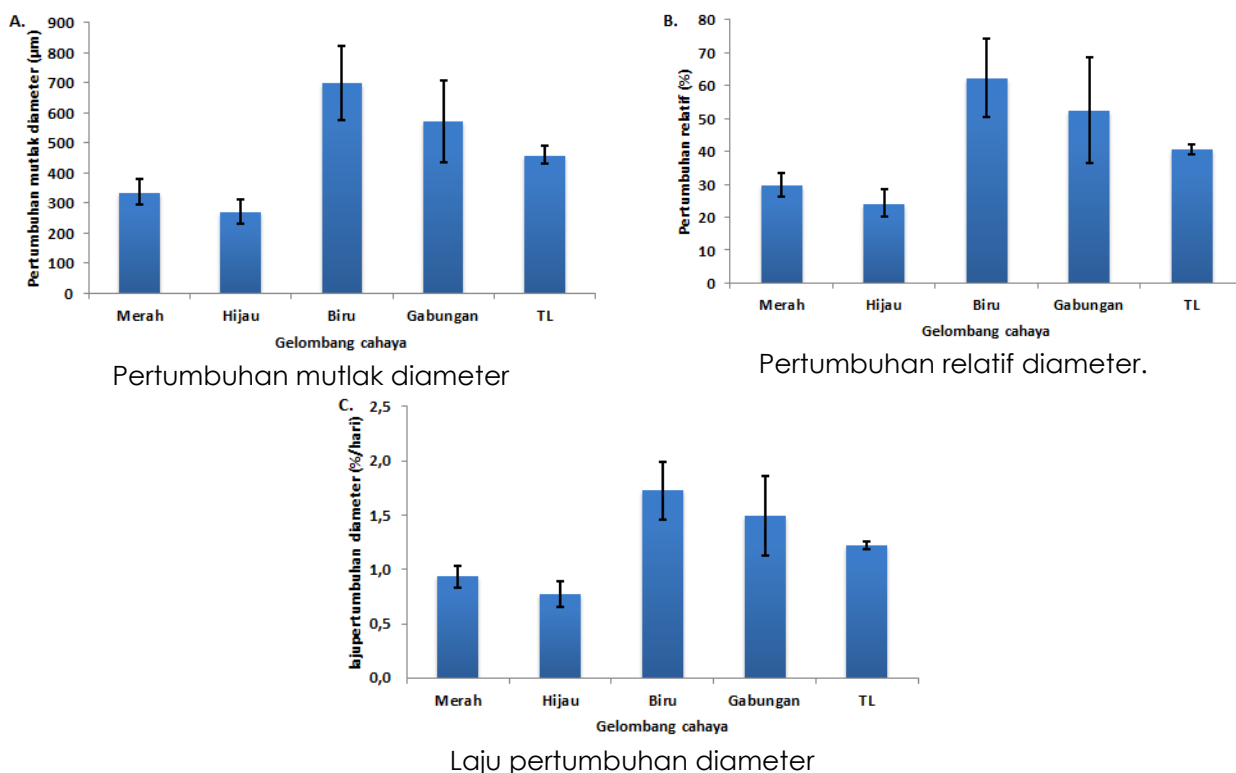
terhadap respon pertumbuhan mutlak propagul menunjukkan terdapat hubungan regresi linier sederhana yaitu semakin tinggi komposisi warna biru maka pertumbuhan mutlak semakin tinggi. Berdasarkan hasil penelitian rata-rata pertumbuhan mutlak bobot tertinggi pada panjang gelombang cahaya 455,7 nm dengan warna biru. Penelitian Godinez-Ortega (2008) yang menguji pertumbuhan rumput laut merah dengan pemberian panjang gelombang berbeda dan pertumbuhan tertinggi pada cahaya biru. Cahaya berwarna biru merupakan cahaya yang diserap chlorophyll-a. Ditambahkan (Hurt *et al.*, 2014) konsentrasi klorofil yang tinggi pada rumput laut akan menyerap energi cahaya dengan jumlah yang banyak. Ditambahkan Packer (2009) efisiensi fotosintesis didefinisikan sebagai persentase radiasi cahaya yang diubah menjadi biomassa. Okumura *et al.* (2015) bahwa cahaya monokromatik berwarna biru menghasilkan laju pertumbuhan dan biomassa tertinggi pada *Botryococcus braunii*. Menurut Wu (2016) cahaya pada panjang gelombang warna biru memiliki efisiensi fotosintesis tertinggi pada rumput laut merah. (Matthijs *et al.*, 1996) menyatakan enzim yang terlibat

dalam metabolisme karbohidrat diatur oleh cahaya warna biru.

Data morfologi propagul yang terdiri dari data diameter talus dan percabangan propagul. Adapun hasil perhitungan pertumbuhan mutlak, relatif dan spesifik diameter talus propagul *E.cottonii* tersaji pada Gambar 3.

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan panjang gelombang berpengaruh secara signifikan ($p \leq 0,05$) terhadap pertumbuhan diameter talus baik mutlak, relatif dan SGR. Uji Duncan menunjukkan perbedaan respon pertumbuhan diameter talus yang nyata ($p \leq 0,05$) pada setiap perlakuan.

Cahaya warna biru memiliki respon pertumbuhan mutlak, relatif dan SGR diameter talus tertinggi yaitu secara berurutan sebesar $701 \pm 123,1$ mm, 63 ± 12 % dan $1,73 \pm 0,27$ %/hari. Berdasarkan data pertumbuhan mutlak, relatif dan SGR diameter talus menunjukkan terdapat hubungan antara perlakuan penyinaran terhadap respon diameter talus (Gambar 4).



Gambar 3. Pengaruh panjang gelombang terhadap diameter propagul

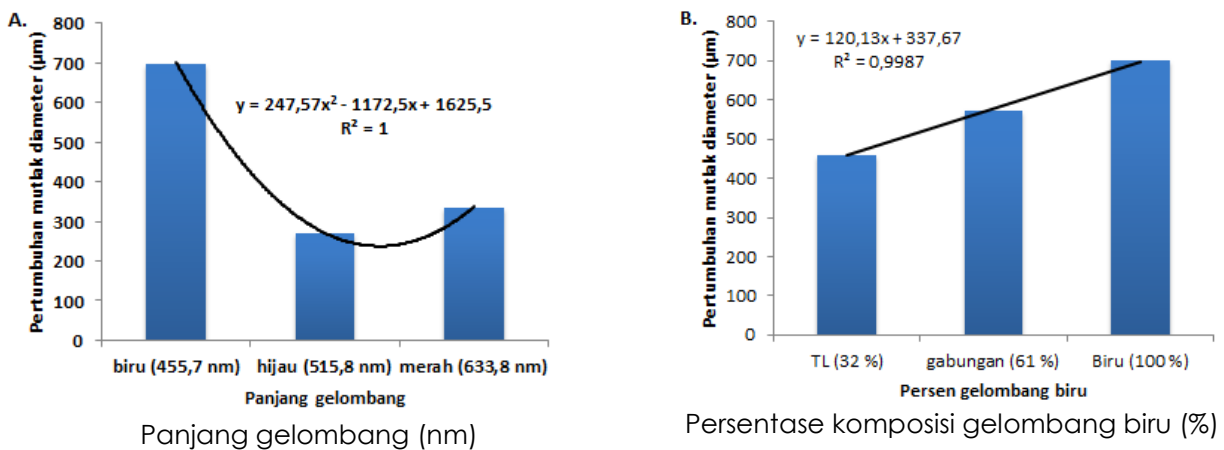
Pertambahan diameter talus yang besar diduga fotosintesis yang optimal dan laju pertumbuhan yang tinggi juga. Hurt *et al.* (2014) panjang gelombang yang sesuai dapat menjaga proses fotosintesis terus berlangsung termasuk pembelahan sel yang menambah ukuran tanaman. Mulyaningrum *et al.* (2012) diameter batang bertambah karena tumbuhnya jaringan meristem diantaranya meristem lateral yang terletak di organ yang mengalami pelebaran. Meristem lateral menghasilkan sel-sel baru yang memperpanjang diameter talus dan memperluas permukaan talus.

Besarnya luas permukaan diduga propagul pada perlakuan panjang gelombang biru lebih efisien dalam menyerap cahaya yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Ditambahkan Stewart & Carpenter (2003) laju fotosintesis bersih dari biomassa spesifik rumput laut meningkat dengan semakin meningkatnya rasio luas

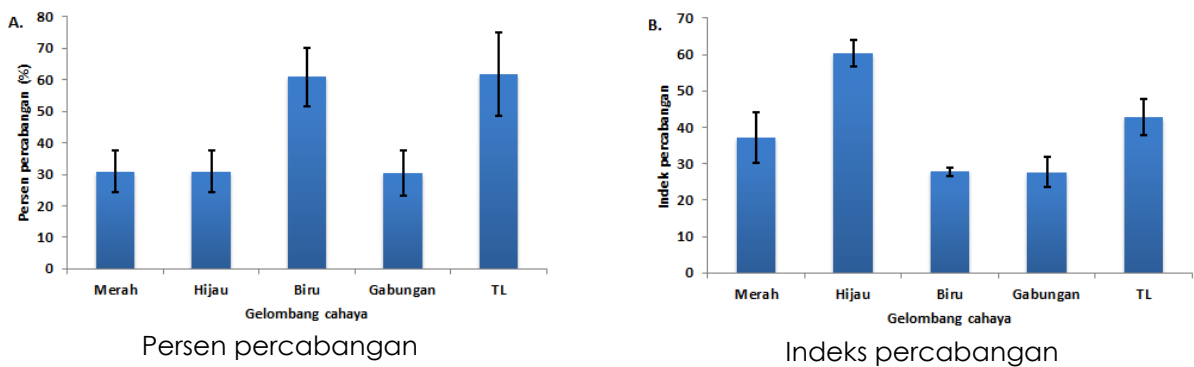
permukaan: volume talus. Tingginya serapan cahaya oleh propagul pada perlakuan panjang gelombang biru akan diikuti tingginya laju fotosintesis, yang meningkatkan laju penyerapan karbon serta laju pertumbuhannya. Laju pertumbuhan yang meningkat mempengaruhi pembesaran diameter dan cabang propagul.

Hasil penelitian tentang morfologi percabangan yang terdiri persentase dan indek pembentukan percabangan. Adapun hasil analisis data pembentukan percabangan, persentase dan indek percabangan propagul (Gambar 5).

Perlakuan cahaya dengan fluorescent (lampu TL) memiliki respon persentase pembentukan percabangan propagul tertinggi sebesar $61,70 \pm 13,26\%$ dan terendah pada cahaya gabungan (lampu LED) sebesar $30,36 \pm 7,01\%$. Jika data indeks percabangan propagul di urutkan dari tertinggi ke terendah



Gambar 4. Hubungan panjang gelombang terhadap pertumbuhan mutlak diameter



Gambar 5. Pengaruh panjang gelombang terhadap pertumbuhan percabangan propagul.

adalah yang tertinggi perlakuan cahaya hijau, fluorescent (lampu TL), cahaya merah, cahaya biru dan cahaya gabungan (lampu LED). Perlakuan cahaya hijau memiliki indeks percabangan tertinggi yaitu $60,45 \pm 3,67$, sedangkan cahaya gabungan (lampu LED) terendah yaitu $27,64 \pm 4,20$.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil tertinggi pada perlakuan panjang gelombang cahaya warna biru. Hal ini diduga gelombang cahaya biru berperan dalam pertumbuhan maupun proses metabolisme sel. Gelombang cahaya dalam penelitian ini menghasilkan respon berbeda terhadap perubahan morfologi. Hurd *et al.* (2014) panjang gelombang cahaya yang sesuai dapat menjaga proses fotosintesis terus berlangsung termasuk pembelahan sel yang menambah ukuran tanaman dan pembentukan tunas, sehingga dapat mengoptimalkan pembentukan tunas. Pertumbuhan yang optimal ini dapat mensintesis berbagai hasil seperti pembentukan hormon yang memacu pertumbuhan maupun pembentukan organ tanaman.

Pertumbuhan cabang merupakan hasil dari pembelahan dan pembesaran sel yang terjadi di jaringan meristem. Jaringan meristem adalah jaringan yang bersifat embrionik, yaitu sel-selnya mempunyai kemampuan membelah diri secara terus-menerus. Mulyaningrum *et al.* (2012) jaringan meristem terdapat di ujung dan interkalar. Meristem ujung terletak di ujung akar atau batang. Meristem interkalar terletak diantara jaringan yang terdiferensiasi. Meristem yang di bagian ujung menghasilkan sel-sel baru di ujung talus rumput laut sehingga talus bertambah panjang. Meristem interkalar memberi pemanjangan sel-sel di ruas-ruas cabang.

KESIMPULAN

Perlakuan panjang gelombang cahaya berpengaruh signifikan ($p \leq 0,05$) terhadap pertumbuhan dan morfologi propagul *Eucheuma cottonii*. Pertumbuhan bobot, diameter talus dan persentase percabangan terbaik pada perlakuan cahaya biru dengan panjang gelombang 455,7 nm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada pemberi dana yang bersumber dari selain APBN DPA LPPM, Universitas Diponegoro Tahun Anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Bixler, H.J. & Porse, H. 2011. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J. Appl. Phycol.* 23:321–335
- Bouanati, T., Colson, E., Sébastien Moins, S., Cabrera, J.C, Eeckhaut, I., Raquez, J.M. & Pascal Gerbaux, P. 2020. Microwave-assisted depolymerization of carrageenans from *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma spinosum*: Controlled and green production of oligosaccharides from the algae biomass. *Algal Research*, 51:1-10. doi: 10.1016/j.algal.2020.102054
- Doty, M.S. 1987. The production and use of *Eucheuma*. In: Doty, M.A., Caddy, J.F., Santelices, B. (Eds.), *Case Studies of Seven Commercial Seaweed Resources*. FAO Fish. Tech. Pap., 281 Rome
- Fadilah. S. & Dhini, A.P., 2016. Propagasi Bibit Rumput Laut *Gracilaria gigas* pada Tahap Kultur Jaringan, Aklimatisasi, dan Pembesaran. *Media Akuakultur*. 11(2):1010-1014.
- FAO, 2014. Fao Year book, Fishery and Aquaculture Statistics 2012, Food & Agriculture Org
- FAO. 2012. The state of world fisheries and aquaculture. *Opportunities and challenges*
- FAO. 2013. Yearbook of fishery statistics summary tables. (<ftp://ftp.fao.org/fi/stat/summary/default.htm>); accessed 7.09.13.
- FAO. 2018. Meeting the Sustainable Development Goals, Rome.
- Ghadiryfar, M., Rosentrater, K.A., Keyhani, A. & Omid, M. 2016. A review of macroalgae production, with potential applications in biofuels and bioenergy. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 54:473–481. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.020
- Godinez-Ortega, J.L., Snoeijs, P., Robledo, D., Freile-Pelegrin, Y. & Pedersen, M. 2008. Growth and Pigment Composition in The Red Alga *Halymenia floresii* Cultured

- Under Different Light Qualities. *J. App. Phycolog.* 20:253-260.
- Hendri, M., Rozirwan. & Apri, R., 2017., Optimization of Cultivated Seaweed Land *Gracilaria sp.* Using Vertikultur System. *Int. J. Mar. Sci.*, 7(43):411-422.
- Hurd, C.L., Harrison, P. J., Bischof, K., & Lobban, C.S. 2014. Seaweed Ecology and Physiology. 2nd. Cambridge University Press. doi: 10.1017/CB09781139(92637)
- Matthijs, H.C.P., Balke, H., Van Hes, U.M., Kroon, B.M.A., Mur, L.R. & Binot, R.A., 1996. Application of Light-Emitting Diodes in Bioreactors: Flashing Light Effects and Energy Economy in Algal Culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnol. Bioeng.*, 50(1):98-107.
- Neish, I.C., 2013., Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming in Indonesia, *Soc. Econ. Dimens. Carrageenan Seaweed Farming Fish. Aquac. Tech. Pap.* 580:61–89.
- Okumura, C., Saffreena, A.N., Rahman, M.A., Hasegawa, H., Miki, O. & Takimoto, A. 2015. Economic Efficiency of Different Light Wavelengths and Intensities Using LEDs for The Cultivation of Green Microalga *Botryococcus braunii* (NIES-836) for Biofuel Production. *Environ. Prog. Sustain. Energ.*, 34(1):269-275.
- Packer, M., 2009. Algal Capture of Carbon Dioxide: Biomass Generation as A Tool for Greenhouse Gas Mitigation with Reference to New Zealand Energy Strategy and Policy. *Energy Policy.* 37: 3428-3437.
- Pramesti, R. 2013. Media Air Laut yang Diperkaya Terhadap Laju Pertumbuhan *Gracilaria lichenoides* L (Harvey). *Bul. Oseanograf. Mar.* 2(1):66 -71 doi: 10.14710/buloma.v21.6929
- Stewart, H.L. & Carpenter, R.C. 2003. The Effects of Morphology and Water Flow on Photosynthesis of Marine Macroalgae. *Ecology.* 84(11):2999- 3012
- Suryono, C.A., Irwani, Sabdono, A., Pribadi, R., Setyani, W.A., & Indarjo, A., 2020., Pertumbuhan Rumput Laut *Gracilaria sp.* Greville, 1830 (Rhodophyta: Florideophyceae) di Tambak Tidak Produktif Mangunharjo Tugu Semarang. *J. Mar. Res.*, 9(4):369-373 doi: 10.14710/jmr.v9i4.29215
- Takahide, Y., Hisayuki, A., Saori., Ryo, I., Akira, M. & Yutaka, O. 2017. Effects of Light Conditions on The Growth of Commercial Seaweed *Undaria pinnatifida*. *Afr. J. Plant Sci.* 11(6):190-196.
- Thanigaivel, S., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A. & Thomas, J. 2016. Seaweeds as an alternative therapeutic source for aquatic disease management. *Aquaculture*, 464:529–536
- Vatsos, I.N. & Rebours, C., 2015. Seaweed extracts as antimicrobial agents in aquaculture. *J. App. Phycol.*, 27(5):2017-2035
- Wang, Z., Tian, J., Yu, B., Yang, L., & Sun, Y., 2015., LED Light Spectrum Affects The Photosynthetic Performance of *Houttuynia cordata* Seedlings. *Am. J. Optics Photonics.* 3(3):38-42
- Wu, H., 2016. Effect of Different Light Qualities on Growth, Pigmen Content, Chlorophyll Fluorescence, and Antioxidant Enzyme Activity in The Red Alga *Pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta). *BioMed Res. Int.*, 1-8
- Xu, S.Y., Huang, X. & Cheong, K.L., 2017. Recent advances in marine algae polysaccharides: isolation, structure, and activities, *Mar. Drugs.* 15(12):1–16
- Yakob, Z., Ali, E., Zainal, A., Mohamad, M., & Takriff, M.S. 2014. An overview: biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture, *J. Biol. Res.* 21(1):1–10.
- Zemke-White, W.L. & Ohno, M.1999. World seaweed utilization: an end-of century summary. *J. App. Phycolog.*, 11:369–376