

**POLA PERTUMBUHAN DAN VARIASI GENETIK BERBASIS DNA MIKROSATELIT
DARI TIGA POPULASI IKAN BARAMUNDI
*Lates calcarifer***

Fitriyah Husnul Khotimah^{*)}, Alimuddin^{*)#}, Dinar Tri Soelistyowati^{*)},
Sri Nuryati^{*)}, Harton Arfah^{*)}, Ketut Sugama^{**)}, Gusti Ngurah Permana^{**)},
Sari Budi Moria Sembiring^{**)}, dan Haryanti^{**)}

^{*)}Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Jalan Agatis, Kampus Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat

^{**)}Pusat Riset Perikanan, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional,
Cibinong, Jawa Barat

(Naskah diterima: 27 Desember 2022; Revisi final: 18 Januari 2023; Disetujui publikasi: 18 Januari 2023)

ABSTRAK

Benih ikan baramundi *Lates calcarifer* diperoleh dari pemijahan alami dengan jumlah induk terbatas sehingga variabilitas pertumbuhan dan kelangsungan hidup antar-*batch* menjadi tinggi. Penelitian dilakukan untuk menganalisis pertumbuhan dan mengevaluasi variasi genetik ikan kakap putih populasi Australia, Situbondo dan Lampung hasil domestikasi dan dibudidayakan di hatcheri skala rumah tangga (HSRT). Sebanyak 10 ekor ikan baramundi dari setiap populasi digunakan untuk analisis variabilitas genetik dengan dua lokus mikrosatelit, yaitu Lca21 dan Lca32. Selanjutnya, data mikrosatelit diolah menggunakan *software genetic analysis in excel* (GenAEx 6.51b2). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pertumbuhan panjang dan bobot tubuh serta laju pertumbuhan spesifik ikan baramundi dari Australia lebih tinggi dibandingkan dari Situbondo dan Lampung ($P < 0,05$); sedangkan ikan baramundi dari Situbondo dengan Lampung adalah sama ($P > 0,05$). Jumlah alel setiap lokus ikan baramundi berkisar 2-8 alel dan heterozigositas tertinggi dimiliki oleh ikan baramundi asal Situbondo (0,85), diikuti Lampung (0,65) dan paling rendah dari Australia (0,54). Dari hasil riset tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga populasi ikan baramundi hasil domestikasi dan dipelihara dalam sistem HSRT memenuhi kelayakan untuk digunakan untuk kegiatan hibridisasi atau membentuk populasi awal (sintetis).

KATA KUNCI: heterozigositas; ikan baramundi; mikrosatelit; pertumbuhan

ABSTRACT: Growth Patterns and Genetic Variations based on DNA Microsatellite of Three Populations of Barramundi, *Lates calcarifer*

Barramundi seeds, Lates calcarifer are usually sourced from natural spawning using a limited number of broodstock. Therefore, the growth and survival rate of these seeds vary greatly between batches. The research was performed to determine the growth pattern and genetic variations of barramundi seed populations produced from domesticated broodstock sourced from Australia, Situbondo, and Lampung and reared in small-scale hatcheries. Ten individuals of barramundi from each population were used for microsatellite analysis using two microsatellite loci, namely: Lca 21 and Lca 32. The resulted microsatellite data was processed using the genetic analysis available in Excel software (GenAEx 6.51b2). The results

#Korespondensi: Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat
Email: alimuddin@apps.ipb.ac.id

showed that the growth in length and body weight as well as the specific growth rate of barramundi seeds produced from Australia broodstock were higher than that of Situbondo and Lampung ($P < 0.05$) while the later two were similar ($P > 0.05$). The number of microsatellite alleles ranged from 2-8 and the highest heterozygosity was obtained by barramundi seeds produced by Situbondo (0.85), followed by Lampung (0.65), dan Australia (0.54) broodstock. From the results of the research, it can be concluded that the three populations of barramundi fish, which were domesticated and reared in the HSRT system, meet the criteria for use in hybridization program or for forming a synthetic population.

KEYWORDS: heterozygosity; barramundi; microsatellite; growth

PENDAHULUAN

Ikan baramundi (*Lates calcarifer*) adalah komoditas budidaya bernilai ekonomis di kawasan Asia Pasifik (Windarto *et al.*, 2019). Ikan ini juga telah dibudidayakan oleh industri akuakultur baik dalam skala kecil maupun besar dengan teknik pemeliharaan yang relatif sederhana, pertumbuhan cepat, dan toleran terhadap fluktuasi lingkungan (Rayes *et al.*, 2013).

Ikan baramundi banyak diminati pembudidaya dan memiliki permintaan pasar tinggi, baik pasar domestik maupun internasional. Kebutuhan benih ikan yang tinggi menuntut panti benih (*hatchery*) untuk meningkatkan produksi benih setiap tahun untuk pengembangan budidaya ikan baramundi. Hal ini menyebabkan pemijahan alami massal dilakukan tanpa mengikuti prosedur pemuliaan sehingga variabilitas pertumbuhan dan kelangsungan hidup antar-*batch* tinggi (Domingos *et al.*, 2013). Produksi benih ikan baramundi masih didominasi oleh panti benih skala kecil atau *hatchery* skala rumah tangga (HSRT) yang menggunakan induk hasil seleksi dengan sifat unggul pertumbuhan asal Australia, atau induk dari perairan lokal Indonesia termasuk Situbondo dan Lampung.

Keterbatasan induk yang digunakan dalam pembenihan sebagian besar spesies budidaya mengakibatkan terjadinya *inbreeding* yang tinggi dan variasi genetik dari populasi turunannya menurun secara signifikan (Jenkins *et al.*, 2020). *Inbreeding* adalah persilangan pada ikan yang masih berkerabat dekat secara genetik

menyebabkan homozigositas yang tinggi, dan keturunannya cenderung bersifat resesif sehingga dapat menyebabkan penurunan produktivitas. Penurunan keragaman genetik akibat hilangnya alel-alel (*genetic drift*) dari hasil pembenihan dapat mengakibatkan penurunan sifat komersial yaitu terhambatnya laju pertumbuhan dan rendahnya ketahanan ikan terhadap infeksi penyakit dan perubahan lingkungan (Loukovitis *et al.*, 2015).

Informasi variasi genetik ikan baramundi yang dibudidaya masih sangat terbatas. Informasi tersebut diperlukan sebagai acuan dalam membuat skema kegiatan pemuliaan ikan baramundi. Evaluasi keragaman genetik ikan baramundi dapat dilakukan dengan aplikasi penanda genetik mikrosatelit. Variasi genetik pada ikan baramundi menggunakan lokus mikrosatelit telah diteliti dengan lokus yang berbeda-beda baik pada populasi budidaya dan populasi liar (Yue *et al.*, 2002; Zhu *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2010; Noble *et al.*, 2014; Loughnan *et al.*, 2013; Senanan *et al.*, 2015; Loughnan *et al.*, 2019). Mikrosatelit merupakan marka molekuler yang sering digunakan untuk mempelajari variasi genetik pada ikan. Marka ini bersifat kodominan dan memiliki polimorfisme yang tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan analisis pertumbuhan dan variasi genetik ikan baramundi yang berasal dari Australia, Situbondo, dan Lampung hasil domestikasi dan budidaya di HSRT. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu kontribusi yaitu diperolehnya populasi kandidat unggul dan layak digunakan dalam kegiatan budidaya yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Pemeliharaan Benih Ikan Baramundi

Benih ikan baramundi diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo (populasi lokal Situbondo), Balai Besar Perikanan Budidaya Laut Lampung (populasi Australia), dan populasi lokal Lampung. Konfirmasi benih ikan baramundi tersebut bebas dari *nervous necrosis virus* (NNV) dilakukan menggunakan metode *polymerase chain reaction* (PCR).

Benih ikan baramundi berukuran rata-rata panjang tubuh: 1,03 ± 0,13 cm diaklimatisasi selama 14 hari sebelum digunakan dalam penelitian. Benih selanjutnya dipelihara selama 60 hari dalam bak *fiber* (kapasitas 1.000 L), masing-masing populasi terdiri dari dua ulangan dengan kepadatan benih 4.000 ekor per bak. Media pemeliharaan diberi klorin 30 mg L⁻¹ untuk memastikan tidak terdapat patogen di dalam media pemeliharaan selama 8 jam sebelum penebaran benih dilakukan. Sisa klorin dinetralkan menggunakan 10 g natrium thiosulfat, 2 jam sebelum benih ditebar. Parameter kualitas air disesuaikan dengan SNI 6145.4 yaitu pemeliharaan ikan pada suhu 29,3 ± 1,4°C; pH 7,0-8,5, dan salinitas 32,0 ± 1,5 g L⁻¹. Pergantian air selama pemeliharaan dilakukan setiap pagi dan sore hari sebanyak 50% sekitar 1 jam setelah pemberian pakan.

Benih awal diberi pakan berupa nauplii *Artemia* (10 individu mL⁻¹) dan pakan buatan secara *ad satiation*. Pakan diberikan empat kali dalam sehari. Pemberian nauplii *Artemia* dihentikan setelah benih berukuran 1,5 cm. Pemisahan ukuran (*grading*) dilakukan setelah nampak adanya perbedaan ukuran ikan dalam satu bak pemeliharaan. *Grading* dilakukan untuk menyeragamkan ukuran benih ikan baramundi sehingga dapat mengurangi terjadinya kanibalisme. Benih ikan baramundi setelah berukuran 3 cm dipelihara menggunakan air mengalir dengan debit air 4 L min⁻¹. Penyiponan untuk membuang sisa pakan dan kotoran dilakukan 1 jam setelah pemberian pakan.

Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Ikan

Bobot dan panjang tubuh ikan baramundi diukur setiap 10 hari untuk menghitung laju pertumbuhan spesifik (LPS). Nilai LPS dihitung mengacu rumus pada penelitian Laitte *et al.* (2021):

$$\text{LPS bobot (\% hari}^{-1}\text{)} = [(\ln W_t - \ln W_o) / t] \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{LPS panjang (\% hari}^{-1}\text{)} = [(\ln P_t - \ln P_o) / t] \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- W_t = Bobot akhir rata-rata ikan hari ke-t (g ekor⁻¹)
- W_o = Bobot awal ikan (g ekor⁻¹)
- P_t = Panjang akhir ikan hari ke-t (cm)
- P_o = Panjang awal ikan (cm)
- t = Hari pemeliharaan

Berdasarkan data pertumbuhan ikan baramundi dibedakan menjadi populasi besar atau terseleksi (Tumbuh Cepat/TC, Y > X + 1SD), populasi sedang (X), dan populasi kecil (Tumbuh Lambat/TL, Y < X - 1SD) pada akhir periode.

Kelangsungan hidup (sintasan) ikan baramundi dihitung pada akhir pemeliharaan, dengan menggunakan rumus:

$$\text{Sintasan (\%)} = \frac{\Sigma \text{ total ikan akhir (ekor)}}{\Sigma \text{ total ikan awal (ekor)}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Variasi Genetik Populasi Ikan Baramundi

Analisis variasi genetik ikan baramundi tiga populasi hasil pemeliharaan di *hatchery* dilakukan menggunakan DNA mikrosatelit. Dua lokus mikrosatelit (LCA 21 dan LCA 32) digunakan pada penelitian ini (Tabel 1). Primer dan suhu *annealing* mengacu pada Yue *et al.* (2002). Pada awal diuji tiga lokus, dan terpilih dua lokus mikrosatelit setelah dilakukan penelitian pendahuluan.

Isolasi DNA Genom

DNA genom diekstraksi dari masing-masing 10 ekor ikan baramundi dari tiap populasi (Australia, Situbondo, dan Lampung). Sebanyak 25 mg daging diambil secara aseptis dan dimasukkan ke dalam *microtube* steril volume 1,5 mL. DNA genom ikan baramundi diekstraksi menggunakan kit komersial (*FavorPrep™ Genomic DNA Extraction mini kit*, FAVORGEN BIOTECH CORP, USA) mengikuti prosedur dalam manual. DNA genom hasil ekstraksi kemudian dilarutkan dalam *elution buffer* sebanyak 20 µL, kemudian disimpan pada suhu -20° C hingga digunakan dalam amplifikasi PCR.

Konsentrasi DNA genom diukur secara kuantitatif menggunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 260/280. Konsentrasi DNA awal dibuat sama sebelum digunakan untuk amplifikasi PCR.

Amplifikasi PCR

Amplifikasi PCR membutuhkan volume reaksi sebesar 25 µL dan dilakukan menggunakan *Top Taq master mix* (Qiagen, Jerman). Sebanyak 3 µL DNA genom hasil ekstraksi ditambahkan ke dalam *microtube* yang sudah berisi 1,25 µL dari 10 pmol primer mikrosatelit *forward* dan *reverse* (Tabel 1), 12,5 µL mastermix dan 7,0 µL ddH₂O. Proses amplifikasi PCR dilakukan menggunakan mesin *T-personal Thermocycler* (Biometra). Program amplifikasi PCR yang digunakan berupa inisiasi denaturasi pada 94°C selama dua menit, dilanjutkan dengan 35 siklus masing-masing denaturasi pada 94°C selama 30 detik, dan suhu *annealing* sesuai Tabel 1 selama 30 detik, dan ekstensi pada suhu 72°C selama 30 detik. Ekstensi akhir dilakukan pada suhu 72°C selama

Tabel 1. Primer dan suhu *annealing* untuk analisis variasi genetik menggunakan mikrosatelit terhadap tiga populasi pada ikan baramundi

Table 1. Primers and annealing temperatures used for genetic variation analysis using microsatellites on three populations of barramundi

Primer Primer	Dye	Motif Motif	Urutan basa (5'-3') Sequence of bases (5'-3')	Suhu <i>annealing</i> Annealing temperature	Target Target
LCA 21	FAM	CA13	Fw: GTGCCACCTGCCTGACC Rv: GCCATGACTGATTGCTGAGA	55°C	161-194
LCA 32	HEX	GATA 15	Fw: TGA CTCCATAAGAGGTTTGACATT Rv: CCTCTTCTTGATTGTTGCTTTGT	50°C	154 - 226

5 menit, dan penyimpanan sampel sementara pada suhu 4°C. Konfirmasi produk amplifikasi PCR dilakukan dengan elektroforesis pada gel agarose 1,5% (w/v) dalam 1× bufer TBE.

Selanjutnya, amplicon PCR diseparasi menggunakan mesin *Sequencer ABI Prism* yang dilakukan di *1st Base Malaysia*. Data skor alel kemudian digunakan untuk analisis parameter genetik yang relevan.

Analisis Data

Data pertumbuhan dianalisis ANOVA dengan bantuan program SPSS versi 20 (SPSS Inc, USA) dan diuji jarak berganda Duncan pada selang kepercayaan 95%. Ukuran alel mikrosatelit dianalisis dengan bantuan program GeneMapper versi 4.0. Ukuran pita DNA mikrosatelit diolah menggunakan

program *Microsoft Excel*. Parameter variabilitas genetik meliputi jumlah alel (A), *heterozygote* yang teramati (Ho) dan frekuensi *heterozygote* yang diharapkan (He), keseimbangan Hardy-Weinberg (HW), derajat *inbreeding* (F_{IS}), nilai F-statistik (F_{IS} , F_{ST} dan F_{IT}) dan variasi genetik antarindividu dalam populasi serta antara individu antarpopulasi dianalisis menggunakan AMOVA (*Analysis of Molecular Variance*) yang dianalisis menggunakan *software genetic analysis in excel* (GenAlEx 6.51b2) (Peakel & Smouse, 2012).

HASIL DAN BAHASAN

Pertumbuhan Ikan Baramundi

Pertumbuhan panjang total dan bobot tubuh benih ikan baramundi asal Australia, Situbondo, dan Lampung disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1. Pola pertumbuhan panjang dan bobot mulai menunjukkan perbedaan pada 10 hari akhir pemeliharaan. Ikan baramundi dari Australia secara nyata menunjukkan penambahan panjang dan bobot yang lebih

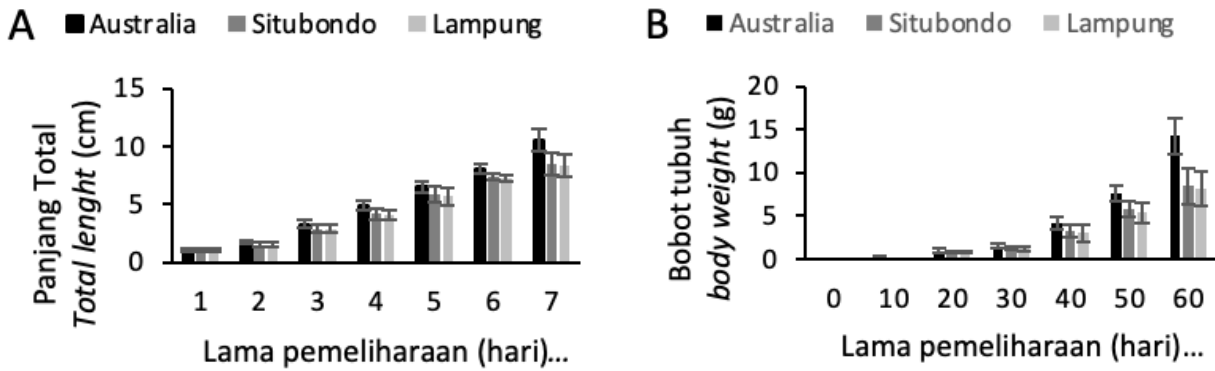
Tabel 2. Laju pertumbuhan panjang dan bobot serta nilai sintasan benih tiga populasi ikan baramundi setelah pemeliharaan selama 60 hari.

Table 2. The growth rate of length and weight and the survival rate of fingerling barramundi for 60 days of rearing

Parameter Parameters	Populasi Population		
	Australia	Situbondo	Lampung
Panjang awal (cm) <i>Initial body length (cm)</i>	1,05 ± 0,11 ^a	1,05 ± 0,11 ^a	1,05 ± 0,11 ^a
Panjang akhir (cm) <i>Final body length (cm)</i>	10,59 ± 0,98 ^a	8,46 ± 1,10 ^b	8,35 ± 1,13 ^b
Laju pertumbuhan spesifik panjang (% hari ⁻¹) <i>Specific growth rate of body length (% day⁻¹)</i>	3,82 ± 0,2 ^a	3,47 ± 0,07 ^b	3,45 ± 0,08 ^b
Bobot awal (g) <i>Initial body weight (g)</i>	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a
Bobot akhir (g) <i>Final body weight (g)</i>	14,27 ± 2,00 ^a	8,42 ± 2,09 ^b	8,19 ± 2,01 ^b
Laju pertumbuhan spesifik bobot tubuh <i>Specific growth rate of body weight (% day⁻¹)</i>	11,33 ± 0,52 ^a	10,74 ± 0,39 ^b	10,76 ± 0,35 ^b
Sintasan (%) <i>Survival Rate (%)</i>	41,42 ± 2,46 ^a	56,26 ± 3,91 ^c	50,64 ± 4,15 ^b

Keterangan: Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Note: The different superscript letters in the same column showed significant differences (P<0.05)



Gambar 1. Pola pertumbuhan panjang (A) dan bobot (B) benih ikan baramundi asal Australia, Situbondo, dan Lampung yang dipelihara selama 60 hari

Figure 1. Body length (A) and weight (B) growth pattern of the Australian, Situbondo, and Lampung populations of barramundi which were cultured for 60 days

Tabel 3. Sebaran ukuran benih ikan baramundi populasi Australia, Situbondo, dan Lampung yang dipelihara selama 60 hari

Table 3. Size distribution of barramundi populations of Australia, Situbondo, and Lampung reared for 60 days

Populasi Population	Koefisien keragaman panjang tubuh (%) Coefficient of variation of body length (%)	Koefisien keragaman bobot tubuh (%) Coefficient of variation of body weight (%)	Rataan panjang total (%) Average of total length (%)		
			Panjang Long	Sedang Medium	Pendek Short
Australia	9,25	14,02	11,68 ± 0,90 (18,21)	10,59 ± 0,60 (42,51)	9,50 ± 0,63 (39,28)
Situbondo	13,48	24,82	9,40 ± 0,84 (11,27)	8,46 ± 0,54 (65,47)	7,52 ± 0,66 (23,26)
Lampung	12,82	24,55	9,33 ± 0,96 (10,02)	8,35 ± 0,60 (61,94)	7,37 ± 0,71 (28,04)

tinggi dibandingkan dengan yang berasal dari Situbondo dan Lampung ($P < 0,05$), sedangkan ikan baramundi dari Situbondo dan Lampung tidak memiliki perbedaan ($P > 0,05$). Demikian juga bobot dan laju pertumbuhan spesifik ikan baramundi populasi Australia lebih tinggi dibandingkan dengan populasi Situbondo dan Lampung ($P < 0,05$) sedangkan pada populasi Situbondo sama dengan Lampung ($P > 0,05$). Namun, sintasan ikan baramundi populasi Situbondo menunjukkan yang tertinggi (56,26%), sedangkan pada populasi Lampung

lebih rendah (50,64%), dan yang terendah adalah populasi Australia (41,42%).

Sebaran ukuran ikan baramundi selama pemeliharaan pada populasi Australia, Situbondo, dan Lampung disajikan dalam Tabel 3. Ikan baramundi yang berasal dari Australia memiliki tingkat keseragaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan ikan baramundi populasi Situbondo dan Lampung.

Seperti ditampilkan pada Tabel 1, populasi ikan baramundi memiliki koefisien keberagaman ukuran individu dalam populasi

yang berbeda. Semakin tinggi nilai *coefficient of variation* (CV) menunjukkan bahwa populasi memiliki keragaman yang luas atau lebih heterogen. Nilai CV panjang dan bobot tubuh ikan baramundi asal Australia lebih rendah dibandingkan CV ikan baramundi populasi Situbondo dan Lampung. Hal ini menunjukkan bahwa ikan baramundi asal Australia memiliki tingkat keseragaman yang lebih tinggi dibanding ikan baramundi asal Situbondo dan Lampung. Berdasarkan Tabel 3, nilai koefisiensi keragaman panjang pada populasi benih ikan baramundi secara umum berkisar dari 9,25%-13,48%; sedangkan pada karakter bobot berkisar antara 14,02%-24,82%.

Variasi Genetik Ikan Baramundi

Primer mikrosatelit yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan produk PCR yang polimorfik. Jumlah sampel per populasi, jumlah alel yang teridentifikasi (Na), heterozigositas

yang diamati (Ho) dan diharapkan (He), koefisien *inbreeding* (Fis) dan kesetimbangan Hardy-Weinberg disajikan dalam Tabel 4.

Nilai heterozigositas yang teramati (Ho) pada ikan baramundi asal Australia lebih rendah dibandingkan heterozigositas yang diharapkan (He), atau menunjukkan defisit heterozigot atau jumlah genotip homozigot lebih banyak dibandingkan heterozigot atau variasi genetik rendah. Jumlah homozigot yang meningkat terjadi karena *inbreeding*. Hal ini karena individu yang disilangkan memiliki alel yang sama (Chew *et al.*, 2021). Kelebihan homozigositas ini, menyebabkan defisit heterozigositas dalam populasi (Syahputra *et al.*, 2016).

Nilai F_{IS} positif menunjukkan defisit heterozigositas dan adanya penyimpangan dari kesetimbangan Hardy-Weinberg (HWE) pada populasi tersebut. Sebaliknya, nilai F_{IS} negatif menunjukkan kelebihan heterozigot yang diamati dan tidak ada kejadian *inbreeding*.

Tabel 4. Variabilitas genetik dari dua lokus mikrosatelit pada ikan baramundi dari populasi Australia, Situbondo, dan Lampung

Table 4. Genetic variability of two microsatellite loci in the Australian, Situbondo, and Lampung barramundi population

	Populasi Population		
	Australia	Situbondo	Lampung
Kisaran panjang alel (bp) <i>Allele size ranged (bp)</i>	165-197	156-197	157-190
Jumlah sampel per lokus (N) <i>Number of samples per locus (N)</i>	10	10	10
Jumlah alel total NA <i>Total number of allele NA</i>	9	13	12
Rata-rata jumlah alel per lokus NA <i>Mean number of alleles per locus NA</i>	4,5	6,5	6,0
Indeks fiksasi dalam populasi (FIS) <i>Fixation index within population (FIS)</i>	0,067	-0,244	-0,171
Heterozigositas harapan (He) <i>Expected heterozygosity (He)</i>	0,565	0,690	0,565
Heterozigositas teramati (Ho) <i>Observed heterozygosity (Ho)</i>	0,539	0,850	0,650
Nilai p Hardy-Weinberg (HW) <i>p-value of Hardy-Weinberg (HW)</i>	0,018	0,784	0,774

Koefisien *inbreeding* antarpopulasi (F_{IS}) berada di kisaran -0,244 hingga 0,067, dengan rata-rata -0,116 (Tabel 4). Koefisien *inbreeding* tertinggi pada populasi Australia (0,067). Nilai F_{IS} positif terdeteksi pada populasi Australia, sedangkan F_{IS} negatif terdeteksi pada populasi lokal Situbondo dan Lampung. Nilai F_{IS} menunjukkan koefisien *inbreeding* dalam suatu populasi, berkisar dari -1 hingga 1. Nilai F_{IS} positif menunjukkan terjadinya *inbreeding* dan nilai F_{IS} negatif menunjukkan *outbreeding* dalam populasi (Imron *et al.*, 2011; Syahputra *et al.*, 2016; Chew *et al.*, 2021). Kondisi penyimpangan kesetimbangan HW disebabkan adanya *inbreeding*, jumlah populasi kecil, persilangan tidak acak, aktivitas seleksi, mutasi, migrasi, dan terjadi aliran gen (Dusheck, 2003). Ukuran populasi efektif dianggap sebagai salah satu parameter terpenting untuk evaluasi kelayakan populasi (Ackerman *et al.*, 2017). Sebagian besar stok sumber penangkaran yang dianalisis selama penelitian ini tampaknya terlalu kecil untuk menghindari depresi perkawinan sedarah, atau untuk pembentukan program perbaikan genetik.

Rata-rata heterozigositas yang teramati (H_o) pada ikan baramundi populasi lokal Situbondo dan Lampung lebih tinggi dari heterozigositas yang diharapkan (H_e). Hasil ini menunjukkan bahwa ikan baramundi populasi Situbondo dan Lampung menunjukkan variasi genetik yang tinggi. Analisis varians molekuler menunjukkan bahwa variasi genetik tertinggi adalah antarindividu antarpopulasi sebesar 67,91%. Variasi antarindividu dalam populasi memiliki nilai sebesar 21,79%, sedangkan variasi antarpopulasi sebesar 10,30% (Tabel 5).

Hasil perhitungan F-statistik berupa nilai rata-rata F_{IT} , F_{ST} dan F_{IS} secara berurutan yaitu 0,321; 0,103; dan 0,243 menunjukkan tidak signifikan (Tabel 5). Nilai $F_{ST} \geq 0 < 0,5$ tidak berbeda nyata, $F_{ST} > 0,5 \leq 1$ berbeda nyata. *Inbreeding* mengakibatkan hilangnya heterozigositas di antara populasi (F_{ST}), di antara individu relatif terhadap subpopulasi (F_{IS}), serta di dalam individu relatif terhadap total populasi (F_{IT}) (Chew *et al.*, 2021).

Nilai-nilai tersebut menunjukkan *level inbreeding* pada tiga populasi ikan baramundi.

Tabel 5. *Analysis of molecular variance* ikan baramundi populasi Australia, Situbondo, dan Lampung menggunakan dua lokus mikrosatelit

Table 5. *Analysis of molecular variance from Australian, Situbondo, and Lampung barramundi populations by using two microsatellite loci*

Sumber keragaman <i>Source of variation</i>	Derajat bebas <i>Degree of freedom</i>	Jumlah kuadrat <i>Sum of squares</i>	Komponen ragam <i>Variance components</i>	Persentase ragam <i>Percentage of variation</i>
Antarpopulasi <i>Among populations</i>	2	5,117	2,558	10,30
Antarindividu dalam populasi <i>Among individuals within populations</i>	27	30,650	1,135	21,79
Antarindividu antarpopulasi <i>Among individuals in among populations</i>	30	20,500	0,683	67,91
Total <i>Total</i>	59	56,267		
$F_{IS} = 0,243$ (23%)				
$F_{IT} = 0,321$ (32%)				
$F_{ST} = 0,103$ (10%)				

Tabel 6. Jarak genetik antara tiga populasi ikan baramundi

Table 6. Genetic distance between three barramundi populations

Populasi Population	Australia	Situbondo	Lampung
Australia	*		
Situbondo	0,224	*	
Lampung	0,282	0,077	*

Nilai F_{IT} tersebut menunjukkan tingkat keseluruhan dari *inbreeding* yang terjadi pada total populasi berkisar 32%, nilai F_{ST} menunjukkan koefisien *inbreeding* pada subpopulasi dari total populasi sebesar 10% dan nilai F_{IS} menunjukkan besarnya *inbreeding* oleh individu yang terjadi pada suatu subpopulasi sebesar 24%. Hasil penelitian ini selaras dengan nilai F_{ST} pada ikan kakap liar populasi Australia yaitu sebesar 0,103 (Loughnan *et al.*, 2019), sedangkan ikan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan baramundi hasil domestikasi. Indeks fiksasi (F_{ST}) merupakan ukuran diferensiasi genetik antarpopulasi, artinya apabila nilai F_{ST} adalah nol maka menunjukkan tidak ada perbedaan secara genetik dari populasi-populasi yang diamati, sedangkan nilai 1,0 diartikan bahwa ada perbedaan karakter genetik (Excoffier & Lischer, 2010).

Jarak genetik antarpopulasi ikan baramundi Australia dengan populasi Lampung sebesar 0,282. Populasi Situbondo sebesar 0,224 dan jarak genetik antara populasi Situbondo dan Lampung 0,077 (Tabel 6).

Semakin kecil jarak genetik antarindividu dalam populasi, maka populasi tersebut semakin seragam. Jarak genetik antara populasi Australia dengan Situbondo dan jarak genetik antara populasi Australia dengan Lampung tergolong dalam jarak genetik sedang (0,1-0,99), sedangkan jarak genetik antara ikan baramundi populasi Situbondo dengan populasi Lampung tergolong dalam jarak genetik kecil (0,010-0,099).

Praktik budidaya ikan baramundi cenderung menyebabkan kehilangan variasi genetik secara signifikan, yaitu stok budidaya

menunjukkan jumlah alel dan variasi genetik yang lebih rendah dibandingkan ikan baramundi dari alam, tidak ada penjelasan penggunaan induk yang sesuai kaidah seleksi (Frost *et al.*, 2006; Yue *et al.*, 2009). Senanan *et al.*, (2015) menyatakan bahwa variasi genetik antara ikan kakap populasi budidaya di Thailand tidak terjadi perbedaan yang signifikan dibandingkan variasi genetik ikan kakap putih dari alam. Hal ini disebabkan manajemen induk berdasarkan kelompok dan berjumlah besar sesuai kaidah seleksi.

KESIMPULAN

Pertumbuhan panjang dan bobot benih ikan baramundi populasi Australia lebih tinggi dibandingkan dengan benih ikan baramundi dari populasi Situbondo dan Lampung. Sintasan tertinggi diperoleh pada populasi Situbondo. Keragaman genetik antarpopulasi ikan baramundi ketiga populasi tidak berbeda nyata dengan jarak genetik berkisar 0,077-0,288. Variasi genetik antarpopulasi (10,3%) lebih rendah dibandingkan dengan variasi genetik antara individu intrapopulasi (21,7%) dan antarindividu antarpopulasi (67,91%).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dihubungkan dalam ilmu pemuliaan menunjukkan bahwa populasi tersebut layak digunakan dalam kegiatan hibridisasi atau digunakan dalam membentuk populasi awal (sintetis) yang umumnya mempunyai tipe heterozigotas yang tinggi dan mempunyai peluang memunculkan sifat heterosis yang baik pada keturunannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada kepada Prof. Dr. Ir. Muhammad Zairin Junior, M.Sc (Alm.) atas bimbingan, koreksi, dan arahan selama penelitian ini dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan serta Balai Besar Riset Budidaya Laut dan Penyuluhan Perikanan Gondol yang telah memberikan bantuan dana, fasilitas serta tenaga pada penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Ackerman, M.W., Hand, B.K., Waples, R.K., Luikart, G., Waples, R.S., Steele, C.A., Garner, B.A., McCane, J., & Campbell, M.R. (2017). Effective number of breeders from sibship reconstruction: empirical evaluations using hatchery steelhead. *Evolutionary Applications*, 10(2), 146–160. <https://doi.org/10.1111/eva.12433>
- Chew, P.C., Christianus, A., Zuzaidy, J.M., Ina-Salwany, M.Y., Chong, C.M., & Tan, S.G. (2021). Microsatellite characterization of Malaysian mahseer (*Tor spp.*) for improvement of broodstock management and utilization. *Animals*, 11, 2633, 1-28. <https://doi.org/10.3390/ani11092633>
- Domingos, J.A., Smith-Keune, C., Robinson, N., Loughnan, S., Harrison, P., & Jerry, D.R. (2013). Heritability of harvest growth traits and genotype environment interactions in barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch). *Aquaculture*, 402, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.03.029>
- Dusheck J. (2003). Population genetics. In: Genetics, Vol. 3. New York (NY): Macmillan Reference, USA. p. 171-174
- Excoffier, L., & Lischer, H.E. (2010). Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10, 564–567.
- Frost, L.A., Evans, B.S., & Jerry, D.R. (2006). Loss of genetic diversity due to hatchery culture practices in barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture*, 261, 1056–1064. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.004>
- Imron, I., Sunandar, D., & Tahapari, E. (2011). Microsatellite genetic variation in cultured populations of African catfish (*Clarias gariepinus*) in Indonesia. *Indonesian Aquaculture Journal*, 6(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.15578/iaj.6.1.2011.1-10>
- Jenkins, S.F., Ishengoma, E., & Rhode, C.A. (2020). A temporal assessment of family composition and genetic diversity in a commercial cohort of Dusky Kob, *Argyrosomus japonicus*, across the production cycle. *Aquaculture*, 516, 734640. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734640>
- Jerry, D.R. (2014). *Biology and Culture of Asian Seabass*. CRC Press. (p 1-314)
- Laitte, M.H., Haser, T.F., Jaya, Nurdin, M.S., Azmi, F., Radona, D., Prihadi, T.H., Masriah, D., & Darsiani. (2022). Kinerja pertumbuhan dan respons fisiologis benih ikan tambra, *Tor tambroides* pada suhu pemeliharaan berbeda. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(4), 211-219. <http://doi.org/10.15578/jra.16.4.2021.211-219>
- Loughnan, S.R., Domingos, J.A, Smith-Keune, C, Forrester, J.P, Jerry, D.R, Beheregaray, L.B, & Robinson, N.A. (2013). Broodstock contribution after mass spawning and size grading in barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch), *Aquaculture*, 404–405, 139–149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.014>
- Loughnan, S.R., Smith-Keune, C., Beheregaray, L.B., Robinson, N.A., & Jerry, D.R. (2019). Population genetic structure of barramundi (*Lates calcarifer*) across the natural distribution range in Australia informs fishery management and aquaculture practices. *Marine and Freshwater Research*, 70, 1533-1542. <https://doi.org/10.1071/MF18330>

- Loukovitis, D., Ioannidi, B., Chatziplis, D., Kotoulas, G., Magoulas, A., & Tsigenopoulos, C.S. (2015). Loss of genetic variation in Greek hatchery populations of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) as revealed by microsatellite DNA analysis. *Mediterranean Marine Science*, 16(1), 197-200. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.1033>
- Noble, T.H., Smith-Keune, C., & Jerry, D.R. (2014). Genetic investigation of the large-scale escape of a tropical fish, barramundi *Lates calcarifer*, from a sea-cage facility in northern Australia. *Aquaculture Environment Interactions*, 5, 173–183. <https://doi.org/10.3354/aei00106>
- Peakall, R. & Smouse, P.E. (2012). GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics*, 28, 2537-2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Rahman, Z.A., Choay-Hoong, L., Khairuddin, R.M., Razak, S.A.B., & Othman, A.F. (2012). Isolation and characterization of novel microsatellite loci for Asian seabass, *Lates calcarifer* from genome sequence survey database. *Journal of Genetics*, 91, e83-e85. <https://doi.org/10.1007/s12041-012-0171-5>
- Rayes, R.D., Sutresna, I.W., Diniarti, N., & Supii, A.I. (2013). Effect of changes in salinity on growth and review white cap fish (*Lates calcarifer* Bloch). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 6(1), 47-56. <http://doi.org/10.21107/jk.v6i1.832>.
- Senanan, W., Pechsiri, J., Sonkawee, S., Na-Nakom, U., Sean-In, N., & Yashiro, R. (2015). Genetic relatedness and differentiation of hatchery populations of Asian seabass (*Lates calcarifer*) (Bloch, 1790) broodstock in Thailand inferred from microsatellite genetic markers. *Aquaculture Research*, 46, 2897–2912. <https://doi.org/10.1111/are.12442>
- Syahputra, K., Ariyanto, D., & Hayuningtyas, E.P. (2016). Keragaman genetik ikan mas (*Cyprinus carpio*) varietas rajadanu tahan koi herpesvirus generasi F0 dan F1 menggunakan tiga lokus mikrosatelit. *Jurnal Riset Akuakultur*, 11(1), 59-66. <http://dx.doi.org/10.15578/jra.11.1.2016.59-66>.
- Windarto, S., Hastuti, S., Subandiyono, Nugroho, R.A., & Sarjito. (2019). Performa pertumbuhan ikan kakap putih (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) yang dibudidayakan dalam sistem keramba jarring apung (KJA). *Sains Akuakultur Tropis*, 3(1), 56-60. <http://doi.org/10.14710/sat.v3i1.4195>.
- Yue, G.H., Li Y., Chao, T.M., Chou, R. & Orban, L. (2002). Novel microsatellites from Asian sea bass (*Lates calcarifer*) and their application to broodstock analysis. *Marine Biotechnology*, 4, 503–11. <https://doi.org/10.1007/s10126-002-0037-6>.
- Yue, G.H., Zhu, Z.Y., Lo, L.C., Wang, C.M., Lin, G., Feng, F., Pang, H.Y., Li, J., Gong, P., Liu, H.M., Tan, J., Chou, R., Lim, H., & Orban, L. (2009). Genetic variation and population structure of Asian seabass (*Lates calcarifer*) in the Asia-Pacific region. *Aquaculture*, 293, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.053>.
- Zhu, Z.Y., Wang, C.M., Feng, F., & Yue G.H. (2009). Isolation and characterization of 51 microsatellites from BAC clones in Asian seabass *Lates calcarifer*. *Animal Genetics*, 40, 25–6. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2008.01797.x>
- Zhu, Z.Y., Wang, C.M., Lo, L.C., Lin, G., Feng, F., Tan, J., Chou, R., Lim, H.S., Orban, L., & Yue, G.H. (2010). A standard panel of microsatellites for Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Animal Genetic*, 41, 208–212 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2009.01973.x>