

Performa reproduksi induk dan benih hibrida *Clarias gariepinus* strain sangkuriang dan Mesir

Performance of broodstock and hybrid juvenile of Egyptian and sangkuriang *Clarias gariepinus* strains

Putri Zulfania, Muhammad Zairin Junior*, Alimuddin, Ade Sunarma

Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga Bogor, Jawa Barat 16680

*Surel: zairinmz@live.com

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate reproduction of broodstock and intraspecific hybrid juvenile performance of Egyptian (M) and sangkuriang (S) strain African catfish *Clarias gariepinus* at nursery phase. Intraspecific hybridization of African catfish was carried out reciprocally (SM and MS) and purebreed (SS and MM), each with three replicates. Fish spawning was conducted by artificial fertilization, and larvae were reared at 1st, 2nd and 3rd nursery phases, subsequently. The results showed that broodstock performance (male and female) of both strains were not significantly different ($P>0.05$) on all reproduction traits, except female's gonadosomatic index. Fertilization and hatching rates of all hybrids were not significantly different ($P>0.05$). MM juvenile had higher growth performances than other juvenile hybrids. Heterosis of total length, standard length, and body weight were varied, whereas the survival showed positive heterosis. SM juvenile showed positive growth heterosis in 3rd nursery phase (total length, standard length, and body weight were 2.61%; 2.16%, and 4.79% respectively). Survival heterosis of MS juvenile (24.20% for total length; 103.13% for standard length and 11.62% body weight) was higher than SM juvenile (6.86%; 48.57%, and 3.09%) on all nursery phases

Keywords: African catfish, intraspecific hybridization, growth, survival, heterosis

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menguji performa reproduksi induk dan benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika *Clarias gariepinus* strain Sangkuriang (S) dan Mesir (M) pada fase pendederan. Hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika dilakukan secara resiprokal (SM dan MS) dan galur murni (SS dan MM) masing-masing dengan tiga ulangan. Pemijahan dilakukan secara buatan dan larva yang dihasilkan dipelihara pada fase pendederan pertama, kedua, dan ketiga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa induk ikan lele jantan dan betina pada kedua strain tidak berbeda nyata ($P>0,05$) pada seluruh parameter reproduksi, kecuali indeks gonadosomatik (GSI) pada induk betina. Derajat pembuahan dan penetasan telur pada seluruh persilangan tidak berbeda nyata ($P>0,05$). Pertumbuhan benih persilangan MM lebih tinggi, dibandingkan benih hasil persilangan lain. Nilai heterosis panjang total, panjang standar, dan bobot tubuh yang dihasilkan pada setiap stadia pendederan bervariasi, sedangkan nilai heterosis kelangsungan hidup menunjukkan hasil seluruhnya positif dibandingkan rataan galur murni. Heterosis pertumbuhan benih persilangan SM pada pendederan ketiga menunjukkan hasil yang positif (2,61% untuk panjang total; 2,16% untuk panjang standar dan 4,79% untuk bobot tubuh). Nilai heterosis kelangsungan hidup benih persilangan MS (24,20% untuk panjang total; 103,13% untuk panjang standar dan 11,62% untuk bobot tubuh) lebih tinggi dibandingkan benih persilangan SM (6,86%, 48,57% dan 3,09%) pada setiap stadia pendederan.

Kata kunci: ikan lele Afrika, hibridisasi intraspesifik, pertumbuhan, kelangsungan hidup, heterosis

PENDAHULUAN

Produksi yang tinggi tanpa diikuti manajemen induk yang baik akan mengakibatkan penurunan mutu genetik. Perbaikan mutu induk dapat dimulai dengan mendapatkan benih berkualitas unggul.

Kualitas induk dan benih ikan secara genetik dapat ditingkatkan melalui seleksi (Bentsen *et al.*, 2012; Cuéllar-Anjel *et al.*, 2012), hibridisasi (Wachirachaikarn *et al.*, 2009; Guy *et al.*, 2009), dan rekayasa gen (Kobayashi *et al.*, 2007; Zhong *et al.*, 2012; Leggatt *et al.*, 2012). Setiap metode

tersebut memiliki kelemahan dan kelebihan. Seleksi yang dilakukan melalui persilangan secara terarah dapat meningkatkan kualitas genetik rata-rata >10% per generasi dan umumnya diperlukan lebih dari tiga generasi sebelum ikan dapat disebar kepada pembudidaya (Gjedrem, 2012). Induk yang berasal dari famili atau populasi yang berbeda dapat disilangkan untuk menghasilkan benih hasil persilangan (hibridisasi). Hibridisasi menghasilkan benih sebar yang dapat langsung dibesarkan oleh pembudidaya dan kualitas benihnya memiliki efek heterosis melebihi 10% lebih tinggi daripada kedua induknya (Guy *et al.*, 2009). Aplikasi rekayasa gen dapat meningkatkan kualitas genetik jauh lebih tinggi daripada capaian seleksi dan hibridisasi, tetapi hingga saat ini ikan transgenik belum ada yang diajukan untuk evaluasi keamanan hayati sebelum disebar ke pembudidaya di Indonesia.

Menurut Goyard *et al.*, (2008), hibridisasi menjadi salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas genetik karena memiliki teknik yang sederhana dan tidak memerlukan biaya tinggi serta dapat dilakukan dengan fasilitas dan kemampuan sumber daya manusia yang terbatas. Hibridisasi umumnya bertujuan untuk meningkatkan laju pertumbuhan, transfer karakter yang diharapkan, menggabungkan karakter yang diharapkan dari dua spesies/grup ke dalam spesies/grup tunggal, mengurangi reproduksi yang tidak diinginkan melalui produksi ikan steril (keturunan yang monoseks), serta meningkatkan toleransi lingkungan (Silva *et al.*, 2006).

Beberapa contoh kegiatan hibridisasi yang telah dilakukan adalah hibridisasi ikan *Yellowstone cutthroat trout Oncorhynchus clarkii bowleri* dan ikan *rainbow trout* introduksi *O. mykiss* (Gunnell *et al.*, 2008), hibridisasi udang biru Pasifik *Penaeus styrotris* (Goyard *et al.*, 2008), hibridisasi ikan lele Afrika *Clarias gariepinus* di Thailand (Wachirachaikarn *et al.*, 2009), dan persilangan dialel *silver perch Bidyanus bidyanus* di Australia (Guy *et al.*, 2009). Hasil hibridisasi ini diharapkan dapat menunjukkan karakteristik yang lebih baik dari kedua sifat induknya (heterosis atau *hybrid vigor*) yang baik (Goyard *et al.*, 2008; Fjalestad, 2005).

Berdasarkan data penelitian terhadap udang biru Pasifik, Goyard *et al.* (2008) menyebutkan bahwa persilangan yang dilakukan antara populasi yang diintroduksi dengan jarak genetik yang berbeda dan kemudian diisolasi, tanpa pengaruh dari *inbreeding*, menunjukkan peningkatan performa dari efek heterosis yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan Wachirachaikarn *et al.* (2009) juga merekomendasikan untuk memastikan adanya perbaikan dari pergeseran genetik (*genetic drift*) dan *inbreeding*, perlu dilakukan introduksi stok baru ikan lele Afrika untuk dilakukan persilangan dengan stok lokal yang telah diadaptasi sebelumnya. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Shikano dan Taniguchi, (2002) yang menunjukkan hasil bahwa persilangan ikan gapi *Poecilia reticulata* dari strain yang berbeda secara genetik (memiliki jarak genetik yang jauh antar strain yang diukur menggunakan marka molekular) memiliki heterosis dari karakter terkait yang signifikan.

Pemuliaan genetik ikan lele di Indonesia telah dilakukan oleh Sunarma *et al.* (2005) dengan teknik silang-balik ikan lele Afrika yang telah diintroduksi di Indonesia sejak 1985 dan menghasilkan ikan lele sangkuriang. Ikan lele sangkuriang tersebut memiliki fekunditas dan pertumbuhan yang lebih tinggi serta konversi pakan yang lebih rendah dibandingkan ikan lele dumbo yang saat itu beredar di masyarakat. Pemuliaan ini dilatarbelakangi oleh adanya perkawinan induk yang tidak terkontrol dengan baik oleh pembenih, maka indikasi penurunan kualitas genetik benih ikan lele telah banyak dilaporkan oleh pembudidaya.

Strain ikan lele Afrika yang terdapat di Indonesia diantaranya adalah ikan lele sangkuriang (Sunarma *et al.*, 2005), dan ikan lele Afrika yang diintroduksi dari Mesir pada tahun 2007 oleh pemerintah daerah Provinsi Jawa Barat. Ikan lele Afrika yang diintroduksi dari Mesir tersebut belum beredar di masyarakat, sehingga diduga belum menyebabkan pergeseran genetik (*genetic drift*) dan *inbreeding* seperti yang direkomendasikan oleh Wachirachaikarn *et al.*, (2009). Upaya yang perlu dilakukan untuk mengatasi adanya beberapa strain ikan lele Afrika yang diintroduksi ke Indonesia, adalah dengan melakukan teknik hibridisasi intraspesifik yang merupakan persilangan antar individu sejenis yang berasal dari lokasi/populasi berbeda. Hibridisasi intraspesifik antara ikan lele strain sangkuriang F3 dengan strain Mesir F1 secara resiprokal perlu dilakukan agar dapat memperbaiki mutu genetik benih ikan lele melalui perbaikan angka pertumbuhan dan kelangsungan hidup berdasarkan nilai heterosis yang positif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa reproduksi induk dan benih hibrida ikan lele Afrika strain sangkuriang dan Mesir pada fase pendederan.

BAHAN DAN METODE

Rancangan penelitian

Persilangan ikan lele *C. gariepinus* Afrika strain sangkuriang (S) dan Mesir (M) dilakukan secara resiprokal termasuk persilangan galur murni. Setiap strain dibuat tiga persilangan sebagai ulangan (Tabel 1).

Ikan uji

Materi uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua strain/populasi ikan lele Afrika introduksi, yaitu strain sangkuriang dan Mesir yang dimiliki oleh BBP BAT Sukabumi. Induk dari masing-masing strain tersebut berjumlah tiga jantan dan tiga betina yang digunakan untuk membuat 12 persilangan.

Pemilihan induk matang gonad

Induk matang gonad yang dipilih adalah masing-masing tiga individu ikan lele betina dan jantan strain sangkuriang, dan tiga individu ikan lele betina dan jantan strain Mesir. Induk betina yang dipilih memiliki ciri-ciri alat kelamin yaitu membulat, perut membesar, dan agak lembek. Kematangan gonad induk ikan lele betina dipastikan dengan melakukan pengambilan sampel telur secara *intra ovarian biopsy* menggunakan selang kateter. Induk ikan lele jantan yang dipilih memiliki ciri-ciri papilla memanjang hingga melewati pangkal sirip ekor dan ujungnya berwarna kemerahan serta memiliki tubuh ramping. Induk matang gonad yang telah dipilih selanjutnya ditimbang bobot tubuhnya. Induk terpilih dimasukkan ke dalam bak fiber berdiameter 1,5 m sebagai wadah penampungan.

Pemijahan induk

Induk ikan lele Afrika dipijahkan secara buatan, melalui rangsangan hormonal dengan penyuntikan ovaprim (Syindex, Jerman) pada dosis 0,2 mL/kg induk secara intramuskular. Setelah 12 jam penyuntikan, induk diperiksa untuk mengetahui kesiapan ovulasi. Induk jantan dibedah, kantung sperma dibuka dan sperma ditampung dalam wadah yang telah diisi larutan fisiologis NaCl 0,9% sebagai media pengencer dengan rasio pengenceran 1 : 100 (sperma : larutan fisiologis). Setelah induk betina dipastikan mengalami ovulasi, perut induk betina kemudian diurut untuk mengeluarkan telurnya. Telur yang berasal dari satu individu betina tersebut dibagi ke dalam dua wadah dan kemudian ditambahkan cairan sperma sesuai perlakuan (Tabel 1). Telur

yang telah ditambahkan cairan sperma tersebut kemudian diaduk menggunakan bulu unggas hingga rata.

Penebaran dan penetasan telur

Setelah telur dan sperma diaduk, ditambahkan sedikit air, kemudian ditebar merata pada hapa halus berukuran 2×1 m² di dalam bak fiber berukuran 4×2×0,5 m³. Selain itu, disiapkan saringan sebagai wadah sampel penghitungan telur untuk menghitung derajat penetasannya. Penetasan telur juga dilakukan pada wadah hapa tersebut.

Pendederan

Larva berumur empat hari dipanen dan dihitung sebanyak 1.500 individu untuk setiap perlakuan kemudian dipindahkan ke dalam akuarium berukuran 80×60×40 cm³ (volume air 100 L) dengan kepadatan 15 ekor/L. Pakan berupa cacing sutera yang dicacah diberikan selama tujuh hingga sepuluh hari secara *ad libitum* dan dilanjutkan dengan pemberian pakan buatan berbentuk tepung berkadar protein 40% pada hari kedelapan hingga hari ke-15. Pemberian pakan buatan dilakukan secara *at satiation* (sekenyangnya) tiga kali sehari ketika dilakukan pergantian air, dan empat kali sehari pada kondisi normal. Sortasi dilakukan pada akhir kegiatan pendederan pertama dengan memilih benih dengan ukuran rata-rata untuk dipelihara lebih lanjut pada pendederan kedua. Pergantian air sebanyak 30–50% dilakukan setiap tujuh hari sekali. Pendederan pertama dilakukan selama tiga minggu.

Benih dengan ukuran rata-rata populasi dari setiap perlakuan disortasi dan selanjutnya dipelihara kembali pada pendederan ketiga dengan kepadatan 5 ekor/L. Pendederan ketiga dilakukan dalam wadah akuarium berukuran 80×60×40 cm³ (volume air 100 L). Pakan yang diberikan adalah pakan buatan berbentuk tepung berkadar protein 40% pada minggu pertama dan dilanjutkan dengan pemberian pakan *crumble* (butiran halus) berkadar protein 39–41% pada akhir minggu pertama yang berlangsung hingga minggu ketiga. Pemberian pakan dilakukan secara *at satiation* (sekenyangnya) tiga kali sehari ketika dilakukan pergantian air dan empat kali sehari pada kondisi normal. Sortasi dilakukan pada akhir kegiatan pendederan kedua dengan memilih benih ukuran rata-rata untuk dipelihara pada fase pendederan ketiga. Pergantian air sebanyak 50–70% dilakukan setiap lima hari

sekali. Pendederan kedua dilakukan selama empat minggu.

Benih yang telah disortasi dan dihitung dipelihara kembali untuk dilanjutkan ke stadia pendederan ketiga pada setiap perlakuan dengan kepadatan 5 ekor/L dalam wadah akuarium berukuran 80×60×40 cm³ (volume air 100 L). Pakan yang diberikan adalah pakan buatan berkadar protein 39–41% dan berdiameter 0,4–0,5 mm pada minggu pertama hingga pertengahan minggu kedua dan dilanjutkan dengan pemberian pakan buatan berkadar protein 39–41% dan berdiameter 0,7–0,8 mm pada minggu kedua dan dilanjutkan dengan pakan yang sama hingga minggu ketiga. Pemberian pakan dilakukan secara *at satiation* (sekenyangnya) dengan frekuensi tiga kali sehari saat dilakukan pergantian air dan empat kali sehari pada kondisi normal. Kemudian benih dipanen dan dihitung jumlah akhirnya. Pergantian air sebanyak 80–100% dilakukan setiap tiga hari sekali. Pendederan ketiga dilakukan selama empat minggu.

Pengukuran kualitas air

Pengukuran kualitas air dilakukan selama pemeliharaan larva dan benih. Parameter harian yang diukur adalah suhu, pH, dan DO; sedangkan parameter mingguan yang diukur adalah amonia. Seluruh parameter tersebut diukur menggunakan *multi-checker* (Horiba model-W23XD), kecuali amonia.

Parameter uji

Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi performa reproduksi induk, derajat pembuahan (*fertilization rate*; FR) dan derajat penetasan (*hatching rate*; HR), serta performa benih yaitu pertumbuhan panjang dan bobot, tingkat kelangsungan hidup (KH), laju pertumbuhan spesifik panjang dan bobot, biomassa panen, distribusi ukuran, nilai heterosis, dan rasio proporsi tubuh.

Performa reproduksi induk

Performa reproduksi induk yang diamati meliputi indeks gonadosomatik (GSI), diameter dan fekunditas telur betina, serta motilitas dan kepadatan spermatozoa. Indeks gonadosomatik (GSI) merupakan persentase bobot gonad jantan atau betina terhadap bobot tubuh.

Diameter telur diukur pada saat pemilihan induk. Sampel telur yang diambil dengan cara *intra ovarian biopsy* diukur menggunakan mikroskop dilengkapi dengan mikrometer pada

perbesaran 40 kali. Fekunditas merupakan jumlah telur per kilogram induk betina. Sampel telur ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan dihitung jumlahnya kemudian digunakan untuk menghitung fekunditas.

Motilitas (%) dan kepadatan spermatozoa (sel spermatozoa/mL) dihitung dari sampel sperma yang diambil dan diencerkan 1.000 kali menggunakan larutan fisiologis. Motilitas spermatozoa diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 100 kali segera setelah aktivasi sel spermatozoa. Aktivasi dilakukan dengan penambahan air (8 µL) terhadap cairan sperma (2 µL). Motilitas sperma diamati dengan menghitung persentase sel spermatozoa yang bergerak aktif. Penghitungan kepadatan spermatozoa dilakukan menggunakan hemasitometer dengan pengambilan lima bidang pandang.

$$\text{Kepadatan sel spermatozoa} = \frac{\text{rataan spermatozoa} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{volume hemasitometer}}$$

Derajat pembuahan (FR)

Derajat pembuahan telur (FR) merupakan persentase jumlah telur lele yang terbuahi dengan jumlah telur hasil pemijahan yang dihitung pada saringan sebagai wadah sampel perlakuan. Telur ikan lele yang dibuahi memiliki ciri-ciri berwarna hijau, sedangkan telur yang tidak terbuahi berwarna putih susu. Telur ikan lele yang dibuahi dihitung 10–12 jam setelah proses pembuahan.

$$\text{Derajat pembuahan} = \frac{\text{jumlah telur terbuahi}}{\text{jumlah telur}} \times 100$$

Derajat penetasan (HR)

Derajat penetasan telur (HR) merupakan persentase jumlah larva yang menetas dengan jumlah telur yang dibuahi. Larva dihitung 36–40 jam setelah pembuahan.

$$\text{Derajat penetasan} = \frac{\text{jumlah telur menetas}}{\text{jumlah telur terbuahi}} \times 100$$

Tingkat kelangsungan hidup

Tingkat kelangsungan hidup (KH) merupakan persentase ikan lele yang hidup pada setiap akhir stadia pendederan. Penghitungan tingkat kelangsungan hidup ikan lele berdasarkan rumus:

$$\text{Tingkat kelangsungan hidup} = \frac{\text{jumlah ikan hidup}}{\text{jumlah ikan ditebar}} \times 100$$

Laju pertumbuhan spesifik

Laju pertumbuhan spesifik atau persentase pertambahan bobot atau panjang setiap hari dikenal dengan istilah *specific growth rate* (SGR). Nilai SGR dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Laju pertumbuhan spesifik} = \frac{(\ln \text{ bobot akhir} - \ln \text{ bobot awal})}{\text{lama pemeliharaan}} \times 100$$

Distribusi ukuran benih

Distribusi ukuran benih merupakan persentase ukuran benih yang terdapat pada setiap perlakuan. Persentase dihitung berdasarkan ukuran benih pada setiap akhir stadia pendederan.

Nilai heterosis

Heterosis merupakan perbandingan rataan hibrida (*hybrid*) dengan rataan galur murni (*purebreed*). Tujuan dilakukan penghitungan heterosis ini untuk menentukan persilangan yang memiliki kualitas genetik lebih dari tetuanya (Goyard *et al.*, 2008). Heterosis dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut Goyard *et al.* (2008):

$$\text{Heterosis} = \frac{\text{rataan hybrid} - \text{rataan purebreed}}{\text{rataan purebreed}} \times 100$$

Rasio proporsi tubuh

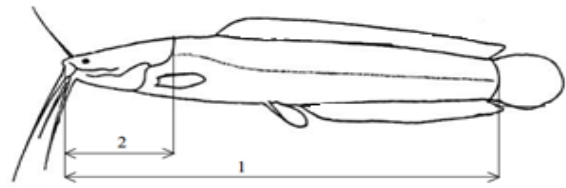
Pengukuran panjang standar tubuh (PS) dan panjang kepala (PK) berdasarkan Gambar 1 terhadap 30 sampel dari masing-masing perlakuan dilakukan untuk mengetahui rasio antarhibrida yang dilakukan pada akhir penelitian. Rasio tersebut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rasio PK/PS} = \frac{\text{panjang kepala}}{\text{panjang standar tubuh}}$$

Tabel 1. Perlakuan persilangan antara ikan lele Afrika strain sangkuriang (S) dan Mesir (M)

J \ B	S1	S2	S3	M1	M2	M3
S1	S1S1	-	-	M1S1	-	-
S2	-	S2S2	-	-	M2S2	-
S3	-	-	S3S3	-	-	M3S3
M1	S1M1	-	-	M1M1	-	-
M2	-	S2M2	-	-	M2M2	-
M3	-	-	S3M3	-	-	M3M3

Keterangan: B: betina, J: jantan.



Sumber : SNI (01-6484-3-2000)

Gambar 1. Pengukuran panjang standar (1) dan panjang kepala (2) pada ikan lele berdasarkan SNI (2000).

Analisis data

Data performa reproduksi dan benih dianalisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel* 2010 dan *Minitab* 16.0. Fenotipe kuantitatif dari performa reproduksi yang meliputi performa induk, derajat pembuahan, derajat penetasan, kelangsungan hidup, laju pertumbuhan spesifik, dan biomassa panen dianalisis menggunakan pengujian *one-way ANOVA* dan uji lanjut *Tukey*. Data distribusi ukuran, nilai heterosis, performa fenotipe hibrida, dan data kualitas air dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Performa reproduksi induk ikan lele

Performa reproduksi induk betina ikan lele Afrika strain sangkuriang dan Mesir tidak menunjukkan perbedaan ($P > 0,05$) pada parameter bobot tubuh, fekunditas telur, dan diameter telur, sedangkan GSI pada induk betina ikan lele strain sangkuriang lebih tinggi ($P < 0,05$) dibandingkan strain Mesir (Tabel 2). Sementara itu performa reproduksi induk ikan lele jantan menunjukkan bahwa bobot tubuh ikan jantan, GSI, kepadatan sel spermatozoa, dan motilitas sperma menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) antar kedua strain (Tabel 3). Parameter derajat pembuahan (FR) dan derajat penetasan (HR) pada semua hasil persilangan juga tidak menunjukkan perbedaan ($P > 0,05$) seperti disajikan pada Tabel 4.

Performa benih ikan lele hibrida

Pertumbuhan benih ikan lele yang diamati pada setiap akhir stadia pendederan meliputi pertumbuhan panjang total (Gambar 2) dan bobot tubuh (Gambar 3). Pertumbuhan panjang total, panjang standar, dan bobot tubuh seluruh benih persilangan pada pendederan pertama menunjukkan tidak terdapat perbedaan ($P > 0,05$). Pada stadia pendederan kedua, pertumbuhan

panjang total dari semua benih menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$) antarpersilangan, sedangkan benih persilangan MM menunjukkan pertumbuhan panjang standar dan bobot tubuh berturut-turut $3,54\pm 0,18$ cm dan $0,65\pm 0,12$ g yang lebih tinggi dibandingkan dengan benih persilangan SS ($P<0,05$), tetapi tidak berbeda ($P>0,05$) dengan benih persilangan SM dan MS. Pada stadia pendederan ketiga, benih persilangan MM menunjukkan pertumbuhan panjang total, panjang standar, dan bobot tubuh berturut-turut $10,74\pm 0,09$ cm, $9,36\pm 0,09$ cm, dan $9,44\pm 0,76$ g yang lebih tinggi dari benih persilangan SS dan MS ($P<0,05$), tetapi tidak berbeda ($P>0,05$) dengan benih persilangan SM.

Gambar 4 memperlihatkan laju pertumbuhan spesifik bobot tubuh benih pada semua hasil persilangan tidak berbeda nyata ($P>0,05$), sedangkan laju pertumbuhan spesifik panjang total ($2,89\pm 0,02\%$ /hari) dan panjang standar ($2,92\pm 0,03\%$ /hari) benih persilangan MM lebih tinggi dibandingkan benih persilangan SS dan MS ($P<0,05$). Selanjutnya, pertumbuhan panjang spesifik benih persilangan MM tidak berbeda

nyata ($P>0,05$) dengan benih persilangan MS yang memiliki panjang total ($2,68\pm 0,04\%$ /hari) dan panjang standar ($2,70\pm 0,03\%$ /hari).

Tingkat kelangsungan hidup benih persilangan MS ($96,14\pm 0,83\%$) pada pendederan kedua, dijumpai lebih tinggi dibandingkan ketiga benih hasil persilangan lainnya ($P<0,05$). Pada stadia pendederan pertama dan pendederan ketiga tidak menunjukkan perbedaan nyata ($P>0,05$) antarpersilangan (Gambar 5). Sementara itu, biomassa panen merupakan jumlah total bobot ikan lele saat panen akhir. Biomassa benih ikan lele pada akhir pemeliharaan tidak menunjukkan perbedaan nyata ($P>0,05$) di antara keempat benih ikan hasil persilangan yang diperlihatkan pada Gambar 6.

Distribusi ukuran benih ikan lele selama masa pemeliharaan (Gambar 7) menunjukkan persentase jumlah benih ukuran kecil, sedang, dan jumper. Benih jumper merupakan benih yang memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran rata-rata populasi yang berpotensi memakan individu lain yang lebih kecil (kanibalisme). Persentase jumper

Tabel 2. Performa induk betina ikan lele Afrika strain sangkuriang dan Mesir

Parameter	Ikan lele strain sangkuriang	Ikan lele strain Mesir
Bobot tubuh (kg)	$5,41\pm 1,13^a$	$3,10\pm 0,39^a$
Fekunditas (telur/kg induk)	78.594 ± 7.050^a	63.862 ± 5.637^a
GSI (%)	$14,94\pm 0,44^a$	$11,27\pm 1,21^b$
Diameter telur (mm)	$1,61\pm 0,05^a$	$1,54\pm 0,05^a$

Data menunjukkan rata-rata \pm SE; GSI: indeks gonadosomatik; huruf berbeda pada setiap parameter menunjukkan perbedaan yang nyata ($P<0,05$); jumlah ikan dalam analisis GSI adalah tiga ekor.

Tabel 3. Performa induk jantan ikan lele Afrika strain sangkuriang dan Mesir

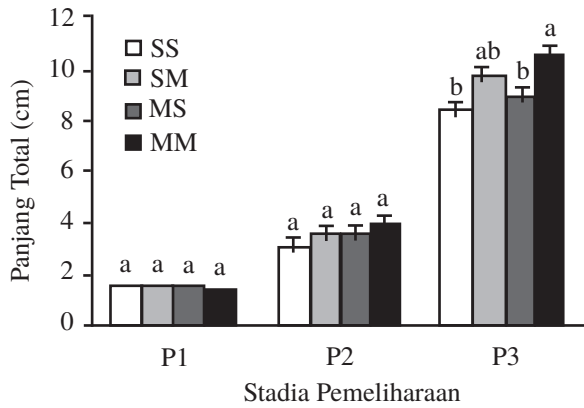
Parameter	Ikan lele strain sangkuriang	Ikan lele strain Mesir
Bobot Tubuh (kg)	$5,41\pm 1,13^a$	$3,10\pm 0,39^a$
GSI (%)	78.594 ± 7.050^a	63.862 ± 5.637^a
Kepadatan sperma ($\times 10^9$ sel/mL)	$14,94\pm 0,44^a$	$11,27\pm 1,21^b$
Motilitas sperma (%)	$1,61\pm 0,05^a$	$1,54\pm 0,05^a$

Data menunjukkan rata-rata \pm SE; GSI: indeks gonadosomatik; huruf berbeda pada setiap parameter menunjukkan perbedaan yang nyata ($P<0,05$).

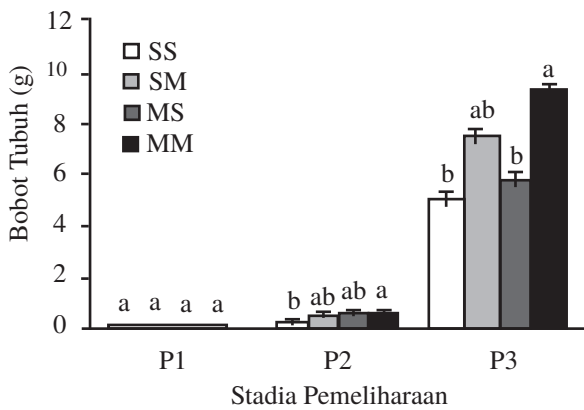
Tabel 4. Derajat pembuahan (FR) dan derajat penetasan (HR)

Parameter	Derajat pembuahan	Derajat penetasan
SS	$86,87\pm 10,37^a$	$81,76\pm 2,56^a$
SM	$91,46\pm 1,67^a$	$85,87\pm 1,48^a$
MS	$88,85\pm 7,49^a$	$88,22\pm 10,23^a$
MM	$90,90\pm 5,81^a$	$89,67\pm 3,80^a$

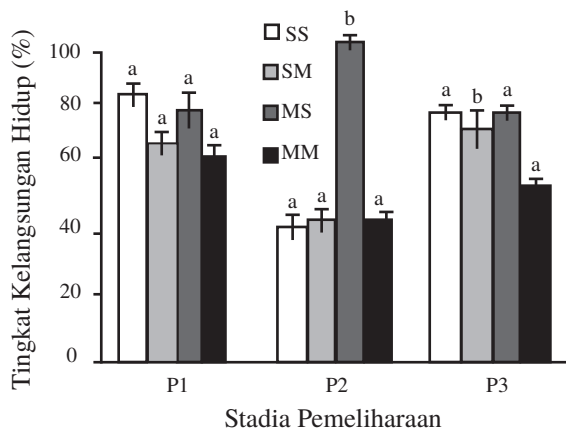
Data menunjukkan rata-rata \pm SE; S: strain sangkuriang, M: strain Mesir. Huruf berbeda pada setiap kolom menunjukkan perbedaan yang nyata ($P<0,05$).



Gambar 2. Pertumbuhan panjang total benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprok. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, P1: stadia pendederan 1, P2: stadia pendederan 2, P3: stadia pendederan 3. Huruf berbeda pada setiap stadia pemeliharaan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).



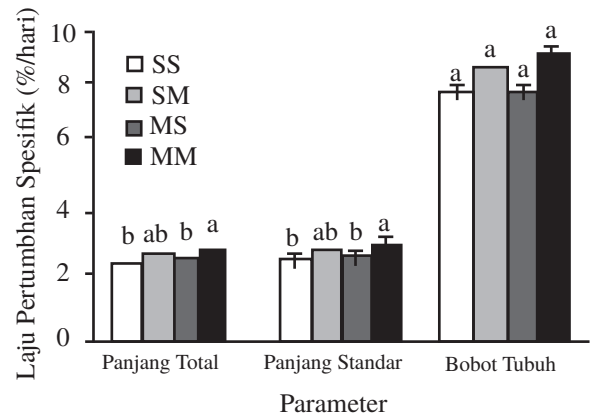
Gambar 3. Pertumbuhan bobot tubuh benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprok. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, P1: pendederan 1, P2: pendederan 2, P3: pendederan 3. Huruf berbeda pada setiap stadia pemeliharaan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).



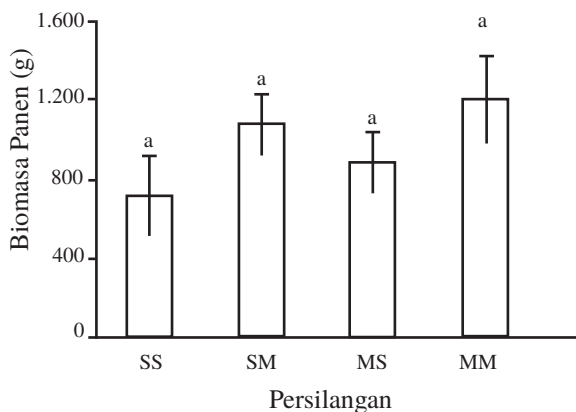
Gambar 5. Tingkat kelangsungan hidup benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprok. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, P1: pendederan 1, P2: pendederan 2, P3: pendederan 3. Huruf berbeda pada setiap stadia pemeliharaan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

paling tinggi terjadi pada stadia pendederan kedua. Persentase jumper tertinggi didapatkan pada benih hasil persilangan MM yaitu sebesar 0,25% pada pendederan pertama, dan 20,09% pada pendederan ketiga. Pada stadia ini, tidak didapatkan jumper kecuali pada persilangan MS (0,21%).

Nilai heterosis (Gambar 8) panjang total, panjang standar, dan bobot tubuh yang dihasilkan pada setiap stadia pendederan bervariasi, sedangkan nilai heterosis kelangsungan hidup menunjukkan nilai seluruhnya positif dibandingkan rata-rata *purebreed*. Nilai heterosis benih persilangan SM pada pendederan ketiga selalu menunjukkan hasil yang positif dibandingkan rata-rata *purebreed* (2,61% untuk panjang total, 2,16% untuk panjang standar, dan



Gambar 4. Laju pertumbuhan spesifik (SGR) benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprok. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir. Huruf berbeda pada setiap kolom parameter menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

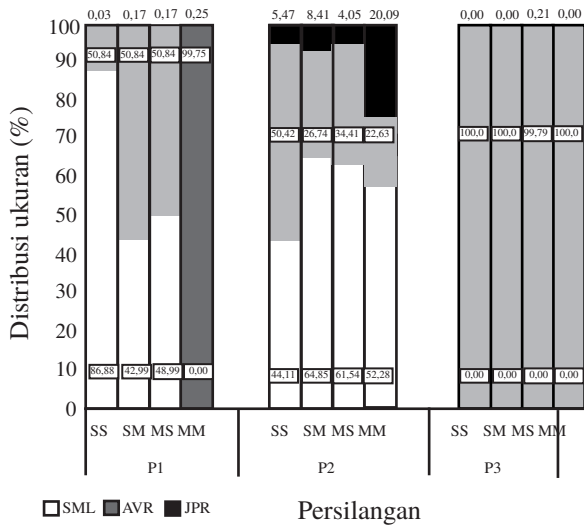


Gambar 6. Biomassa panen benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprok. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir. Huruf berbeda pada setiap persilangan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

4,79% untuk bobot tubuh). Nilai heterosis benih persilangan MS pada pendederan ketiga selalu menunjukkan hasil yang negatif dibandingkan rata-rata *purebreed* (-5,54% untuk panjang total, -6,35% untuk panjang standar, dan -20,20% untuk bobot tubuh). Nilai heterosis kelangsungan hidup pada benih persilangan MS (24, 20, 103,13, dan 11,62%) lebih tinggi dibandingkan dengan benih

persilangan SM (6,86, 48,57, dan 3,09%) pada setiap stadia pendederan.

Rasio proporsi tubuh PK (panjang kepala) terhadap PS (panjang standar) (Gambar 9) dari benih ikan lele yang didapatkan menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$) antarpersilangan. Rasio yang diperoleh berkisar 0,26–0,27 pada seluruh persilangan.



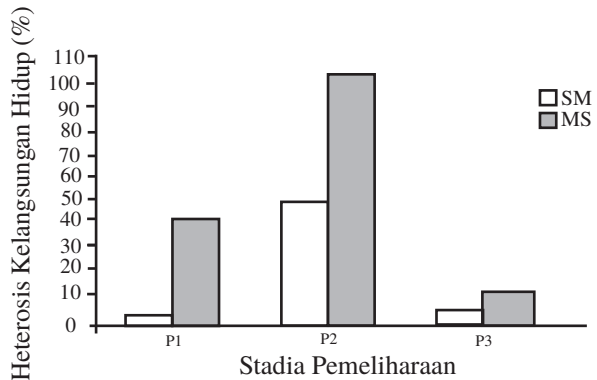
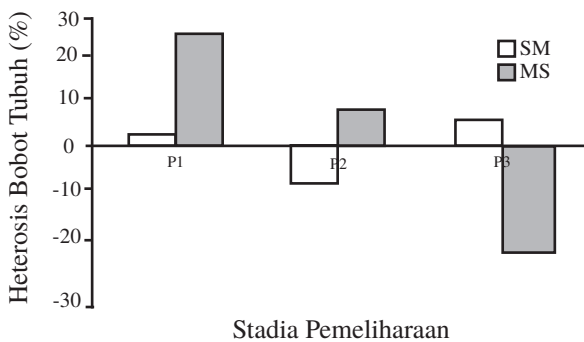
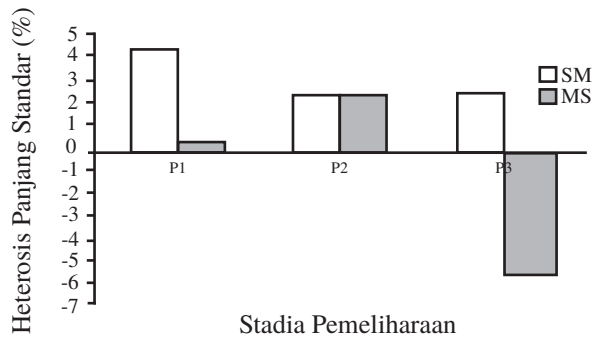
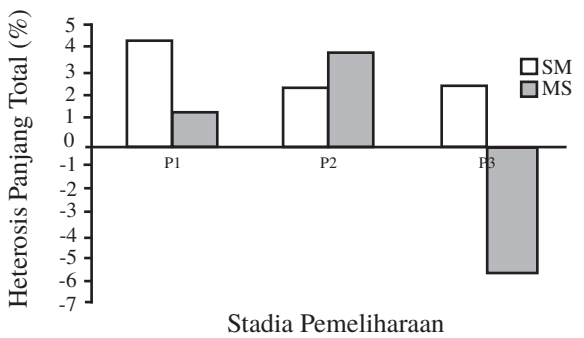
Gambar 7. Distribusi ukuran (%) benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprokal. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, P1: stadia pendederan 1, P2: stadia pendederan 2, P3: stadia pendederan 3. SML: ukuran kecil, AVR: ukuran sedang, JPR: ukuran jumper.

Kualitas air

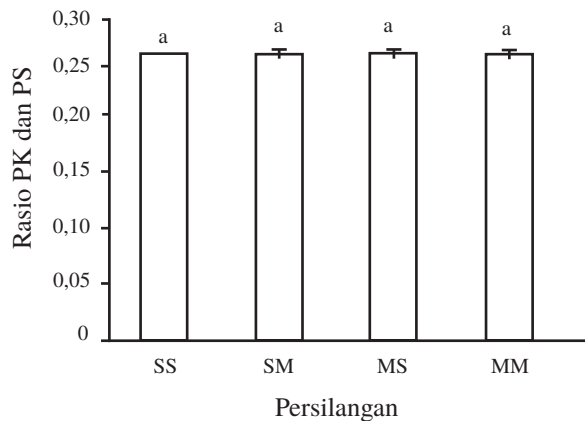
Kualitas air selama pemeliharaan ditampilkan pada Tabel 5. Secara umum, kualitas air media pemeliharaan masih berada pada kisaran optimum untuk pertumbuhan benih ikan lele, baik berdasarkan SNI tahun 2000 maupun Fleuren (2008). Kadar amonia yang fluktuatif cukup tinggi dapat terjadi karena pengambilan beberapa sampel dilakukan sebelum pergantian air, sehingga masih terdapat penumpukan feses dan sisa pakan yang belum terbangun melalui pergantian air.

Pembahasan

Hibridisasi merupakan dasar dari persilangan antara genotipe yang berbeda. Hibridisasi atau dikenal juga dengan persilangan (*cross-breeding*) dilakukan baik untuk mendapatkan keturunan yang memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan tetuanya (*hybrid vigor* atau heterosis) atau sebagai tahap awal pada



Gambar 8. Nilai heterosis benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprokal. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, P1: stadia pendederan 1, P2: stadia pendederan 2, P3: stadia pendederan 3.



Gambar 9. Rasio PK (panjang kepala) dan PS (panjang standar) benih hasil hibridisasi intraspesifik ikan lele Afrika secara resiprokal. S: strain sangkuriang, M: strain Mesir, PK: panjang kepala, PS: panjang standar. Huruf berbeda pada setiap stadia pemeliharaan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

penerapan teknik seleksi melalui pembentukan populasi dasar (Fjalestad, 2005; Moss *et al.*, 2007). Salah satu tujuan spesifik dari hibridisasi adalah untuk meningkatkan variasi genetik, seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Peningkatan variasi genetik yang terjadi diharapkan dapat meningkatkan mutu genetik, seperti fenotipe pertumbuhan dan kelangsungan hidup (Shikano & Taniguchi, 2002; Goyard *et al.*, 2008; Allendorf *et al.*, 2008; Biro *et al.*, 2006; Nielsen *et al.*, 2010). Hasil persilangan (hibridisasi) sulit untuk diprediksi sehingga perlu dilakukan uji empiris untuk membuktikannya (Goyard *et al.*, 2008; Thanh *et al.*, 2010).

Perbandingan hasil hibridisasi juga ditentukan oleh induk yang digunakan. Induk ikan lele betina dan jantan dipelihara dengan metode yang sama. Performa induk jantan (Tabel 3) secara umum memiliki karakter yang tidak berbeda pada seluruh parameter antara kedua strain. Sementara pada performa induk betina, seluruh parameter menunjukkan hasil yang tidak berbeda kecuali parameter GSI.

Kepadatan sperma yang didapatkan dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan

hasil yang didapatkan oleh Mansour *et al.* (2005) yaitu berkisar antara $3,2-7,5 \times 10^9$ sel spermatozoa/mL. Menurut Mansour *et al.* (2005), perbedaan kepadatan sperma yang didapatkan dapat disebabkan oleh variasi tingkat maturasi testis yang dapat mempengaruhi konsistensi, volume, dan kepadatan sel spermatozoa pada semen dan pH plasma seminal. Fekunditas yang didapatkan pada induk ikan lele strain sangkuriang dan strain Mesir dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan fekunditas yang dilaporkan oleh Sunarma *et al.* (2005) yaitu berkisar 40.000–60.000 butir telur/kg induk. Fekunditas dan GSI induk ikan lele yang tinggi pada penelitian ini menunjukkan potensi produksi telur dari ikan lele yang tinggi pula.

Hasil GSI betina tersebut masih berada pada kisaran yang sama seperti yang diperoleh Aiyelari *et al.* (2007) yaitu 13–15% dan Fleuren (2008) yaitu 5–12%. Sementara GSI induk ikan lele jantan dijumpai lebih tinggi dibandingkan dengan GSI ikan lele Afrika jantan yang dipelihara secara terkontrol di Afrika Selatan yakni 0,37% (Kruger *et al.*, 2013). Lebih tingginya fekunditas telur dan persentase GSI strain sangkuriang, baik pada jantan maupun betina, karena strain ini telah jauh lebih dulu dibudidayakan di Indonesia sehingga sudah lebih lama beradaptasi dibandingkan dengan strain Mesir yang baru diintroduksi ke Indonesia pada tahun 2007.

Derajat pembuahan (FR) dan derajat penetasan (HR) pada seluruh hasil persilangan tidak menunjukkan perbedaan. Menurut Aiyelari *et al.* (2007), keberhasilan pembuahan dan penetasan ini dipengaruhi oleh kualitas induk yang digunakan pada proses pemeliharaan, pemilihan induk yang akan dipijahkan, serta penanganan induk saat proses pemijahan. Dengan demikian, kualitas gamet yang dihasilkan sama pada semua induk.

Performa pertumbuhan benih hasil persilangan MM dijumpai lebih tinggi dibandingkan benih hasil persilangan lain. Hal ini diduga terjadi

Tabel 5. Kualitas air media pemeliharaan

Parameter	Satuan	Kisaran yang didapatkan	SNI (01-6484-3-2000)	Fleuren (2008)
Suhu	°C	28,2–31,2	25–30	3,10±0,39 ^a
pH	-	6,99–7,38	6,5–8,5	63.862±5.637 ^a
Oksigen terlarut	mg/L	5,12–7,62	>4	11,27±1,21 ^b
Amonia	mg/L	0,0036–14,75	<0,01	1,54±0,05 ^a

disebabkan oleh tingkat kelangsungan hidup yang rendah dibandingkan dengan benih hasil persilangan lain, sehingga mengakibatkan kepadatan benih yang dipelihara juga rendah. Jika dibandingkan dengan performa pertumbuhan benih dari ketiga persilangan lainnya, maka benih persilangan MS menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi, walaupun secara statistik tidak berbeda dengan benih hasil persilangan MM. Kelangsungan hidup benih hasil persilangan MS yang tinggi ini menunjukkan bahwa benih MS lebih tahan terhadap proses penanganan pada stadia pendederan kedua dibandingkan ketiga benih hasil persilangan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa benih ikan lele sangat rentan terhadap proses penanganan yang dilakukan pada stadia pendederan kedua. Tingkat kelangsungan hidup benih ikan lele yang dipelihara di kolam dimulai dari ukuran 2–3 g hingga 16–20 g (setara dengan stadia pendederan ketiga) dapat mencapai sekitar 80% (Yong-Sulem *et al.*, 2006).

Rendahnya tingkat kelangsungan hidup pada benih hasil persilangan MM diduga karena tingginya persentase benih jumper pada persilangan ini dibandingkan persilangan lainnya. Tingginya persentase jumper tersebut mengakibatkan kanibalisme dalam populasi ini cukup tinggi, sehingga berdampak pada tingkat kelangsungan hidup yang rendah. Adanya benih berukuran jumper yang menunjukkan tingginya variasi ukuran juga terjadi pada penelitian. Terjadinya kanibalisme disebabkan oleh agresivitas benih ikan lele yang cukup tinggi. Faktor kanibalisme disebabkan oleh perilaku agresif dan gigi tajam yang dimiliki benih ikan lele yang dapat melukai individu lainnya (Yong-Sulem *et al.*, 2006; Mukai *et al.*, 2008; Baras *et al.*, 2010; Abunofa *et al.*, 2013; Mukai *et al.*, 2013; Ataguba *et al.*, 2015).

Selain performa benih yang diamati secara langsung, heterosis (*hybrid vigour*) juga diamati karena merupakan komponen penting dalam kegiatan hibridisasi. Nilai heterosis tersebut dihasilkan dengan membandingkan nilai hasil hibrida terhadap nilai rata-rata tetuanya pada persilangan galur murni dengan spesies atau strain yang berbeda sehingga dapat diketahui kelemahan dan kelebihan hasil persilangan pada berbagai parameter (Fjalestad, 2005; Takeda *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2010; Jahnke *et al.*, 2010; Hu *et al.*, 2012; Koolboon *et al.*, 2014; Ng'oma *et al.*, 2014). Nilai heterosis yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang bervariasi.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai heterosis kelangsungan hidup dari benih hasil persilangan SM pada fase pendederan pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut (6,86, 48,57, dan 3,09%) dan benih hasil persilangan MS yaitu 24,20, 103,13, dan 11,62% yang menunjukkan nilai positif dibandingkan dengan rata-rata galur murni pada setiap stadia pendederan. Hasil ini lebih baik dibandingkan dengan nilai heterosis kelangsungan hidup benih yang didapatkan dari hibridisasi ikan lele Afrika (-7,2 dan 5,67%) di Thailand (Wachirachakarn *et al.*, 2009) dan persilangan dialel *silver perch* (-0,058 dan -0,024%) di Australia (Guy *et al.*, 2009).

Secara umum, nilai heterosis yang positif ditunjukkan oleh benih persilangan SM dan MS pada penelitian ini, meskipun ada beberapa nilai heterosis yang menunjukkan hasil negatif. Nilai heterosis yang rendah (<10%) atau bahkan bernilai negatif juga didapatkan pada hibridisasi ikan lele Afrika di Thailand (Wachirachakarn *et al.*, 2009). Adanya nilai heterosis yang rendah (<10%) atau bahkan bernilai negatif dapat terjadi karena nilai heterosis pada setiap parameter sangat dipengaruhi oleh variasi genetik dalam strain/populasi dan jarak genetik antara kedua populasi induk karena heterosis merupakan fungsi perbedaan genetik (Goyard *et al.*, 2008; Fjalestad, 2005; Nowak *et al.*, 2007). Nilai heterosis tertinggi (103,13%) pada penelitian ini didapatkan pada benih persilangan MS parameter tingkat kelangsungan hidup stadia pendederan kedua. Hal yang sama didapatkan oleh Wachirachakarn *et al.* (2009), yang menunjukkan bahwa nilai heterosis tertinggi terdapat pada parameter tingkat kelangsungan hidup. Sementara itu, kualitas air media pemeliharaan secara umum masih berada pada kisaran optimum untuk pertumbuhan benih ikan lele, baik berdasarkan SNI tahun 2000 maupun Fleuren (2008), sehingga diduga perbedaan kelangsungan hidup tersebut merupakan efek hibridisasi. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa hibridisasi ikan lele memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap tingkat kelangsungan hidup benih hibrida yang dihasilkan.

Rasio panjang kepala terhadap panjang standar (PK/PS) menunjukkan tidak terdapat perbedaan pada seluruh hasil persilangan. Tidak adanya perbedaan rasio PK/PS tersebut menunjukkan bahwa *edible portion* (bagian tubuh yang dapat dimakan) pada seluruh persilangan cenderung sama. Bagian *edibel* akan lebih jelas pada saat ikan mencapai ukuran konsumsi, karena itu

perlu diamati lebih lanjut kemungkinan adanya perubahan rasio sejalan dengan pertumbuhan ikan dan pada ukuran konsumsi (8–10 ekor/kg).

KESIMPULAN

Induk ikan lele Afrika *Clarias gariepinus* dari kedua strain sangkuriang dan Mesir memiliki kualitas gamet yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan performa reproduksi pada setiap hasil persilangan merupakan efek hibridisasi. Persentase jumper dan pertumbuhan benih ikan lele persilangan MM lebih tinggi. Kelangsungan hidup benih paling baik diperoleh dari hasil persilangan MS dengan nilai heterosis 24,20% pada stadia pendederan pertama, 103,13% pada stadia pendederan kedua, dan 11,62% pada stadia pendederan ketiga.

DAFTAR PUSTAKA

- Abunofa MEM. 2013. A Comparative study on the chemical and Biometrical measurements of Wild and Cultivated African catfish *Clarias gariepinus* in Sudan [Doctoral Dissertation]. Sudan: Sudan University of Science and Technology.
- Aiyelari TA, Adebayo IA, Osiyemi AS. 2007. Reproductive fitness of stressed female broodstock of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1809). *Journal of Cell and Animal Biology* 1: 78–81.
- Allendorf FW, England PR, Luikart G, Ritchie PA, Ryman N. 2008. Genetic effects of harvest on wild animal populations. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 327–337.
- Ataguba GA, Okomoda VT, Azave VT. 2015. Effect of photoperiod on hatching success of eggs and early fry performance of *Clarias gariepinus* (Siluriformes, Burchell 1822). *Trakia Journal of Sciences* 13: 171–174.
- Baras E, Slembrouck J, Cochet C, Caruso D, Legendre M. 2010. Morphological factors behind the early mortality of cultured larvae of the Asian catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquaculture* 298: 211–219.
- Bentsen HB, Gjerde B, Nguyen NH, Rye M, Ponzoni RW, Palada de Vera MS, Bolivar HS, Velasco RR, Danting JC, Dionisio EE, Longalong FM, Reyes RE, Abella TA, Tayamen MM, Eknath AE. 2012. Genetic improvement of farmed tilapia: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* during five generations of testing in multiple environments. *Aquaculture* 338: 56–65.
- Biro PA, Abrahams MV, Post JR, Parkinson EA. 2006. Behavioural trade-offs between growth and mortality explain evolution of submaximal growth rates. *Journal of Animal Ecology* 75: 1.165–1.171.
- Chen ZJ. 2010. Molecular mechanisms of polyploidy and hybrid vigor. *Trends in plant science* 15: 57–71.
- Cuellar-Anjel J, White-Noble B, Schofield P, Chamorro R, Lightner DV. 2012. Report of significant WSSV-resistance in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, from a Panamanian breeding program. *Aquaculture* 368: 36–39.
- Fjalestad KT. 2005. Breeding strategies. In: Gjedrem T (ed). *Selection and Breeding Programs in Aquaculture*. Dordrecht: Springer. Hlm. 23–32.
- Fleuren. 2008. Reproductive and growout management of African catfish in the Netherlands. In: Ponzoni RW, Nguyen NH (ed). *Proceedings of a Workshop on the Development of a Genetic Improvement Program for African Catfish *Clarias gariepinus**. The Worldfish Center. Hlm. 73–78.
- Gjedrem T. 2012. Genetic improvement for development of efficient global aquaculture: a personal opinion review. *Aquaculture* 344: 12–22.
- Goyard E, Goarant C, Ansquer D, Brun P, de Decker S, Dufour R, Galinie C, Peignon JM, Pham D, Vourey E, Harache Y, Patrois J. 2008. Cross breeding of different domesticated lines as a simple way for genetic improvement in small aquaculture industries: heterosis and inbreeding effects on growth and survival rates of the Pacific blue shrimp *Penaeus (Litopenaeus) styrostris*. *Aquaculture* 278: 43–50.
- Gunnell K, Tada MK, Hawthorne FA, Keeley ER, Ptacek MB. 2008. Geographic patterns of introgressive hybridization between native Yellowstone cutthroat trout *Oncorhynchus clarkii* bouvieri and introduced rainbow trout *O. mykiss* in the South Fork of the Snake River watershed, Idaho. *Conservation Genetics* 9: 49–64.
- Guy JA, Jerry DR, Rowland SJ. 2009. Heterosis in fingerlings from a diallel cross between two wild strains of silver perch *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture Research* 40: 1.291–1.300.

- Hu J, Liu S, Xiao J, Zhou Y, You C, He W, Liu Y. 2012. Characteristics of diploid and triploid hybrids derived from female *Megalobrama amblycephala* Yih × male *Xenocypris davidi* Bleeker. *Aquaculture* 364: 157–164.
- Jahnke S, Sarholz B, Thiemann A, Kühn V, Gutiérrez-Marcos JF, Geiger HH, Scholten S. 2010. Heterosis in early seed development: a comparative study of F1 embryo and endosperm tissues 6 days after fertilization. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 389–400.
- Kobayashi S, Alimuddin, Morita T, Miwa M, Lu J, Endo M, Takeuchi T, Yoshizaki. 2007. Transgenic Nile tilapia *Oreochromis niloticus* over-expressing growth hormone show reduced ammonia excretion. *Aquaculture* 270: 427–435.
- Koolboon U, Koonawootrittriron S, Kamolrat W, Na-Nakorn U. 2014. Effects of parental strains and heterosis of the hybrid between *Clarias macrocephalus* and *Clarias gariepinus*. *Aquaculture* 424: 131–139.
- Kruger T, Barnhoorn I, Vuren JJ, Bornman R. 2013. The use of the urogenital papillae of male feral African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* as indicator of exposure to estrogenic chemical in two polluted dams in an urban nature reserve, Gauteng, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 87: 98–107.
- Leggatt RA, Biagi CA, Smith JL, Devlin RH. 2012. Growth of growth hormone transgenic coho salmon *Oncorhynchus kisutch* is influenced by construct promoter type and family line. *Aquaculture* 356: 193–199.
- Mansour N, Ramoun A, Lahnsteiner F. 2005. Quality of testicular semen of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) and its relationship with fertilization and hatching success. *Aquaculture Research* 36: 1.422–1.428.
- Moss DR, Arce SM, Otoshi CA, Doyle RW, Moss SM. 2007. Effects of inbreeding on survival and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 272: 30–37.
- Mukai Y, Sanudin N, Firdaus RF, Saad S. 2013. Reduced cannibalistic behavior of African catfish, *Clarias gariepinus*, larvae under dark and dim conditions. *Zoological Science* 30: 421–424.
- Mukai Y, Tuzan AD, Lim LS, Wahid N, Raehanah S, Senoo S. 2008. Development of sensory organs in larvae of African catfish *Clarias gariepinus*. *Journal of Fish Biology* 73: 1.648–1.661.
- Ng'oma E, Reichwald K, Dorn A, Wittig M, Balschun T, Franke A, Cellerino A. 2014. The age related markers lipofuscin and apoptosis show different genetic architecture by QTL mapping in short-lived *Nothobranchius* fish. *Aging* 6: 468–473.
- Nielsen HM, Odegard J, Olesen I, Gjerde B, Ardo L, Jeney G, Jeney Z. 2010. Genetic analysis of common carp *Cyprinus carpio* strains: I: Genetic parameters and heterosis for growth traits and survival. *Aquaculture* 304: 14–21.
- Nowak C, Jost D, Vogt C, Oetken M, Schwenk K, Oehlmann J. 2007. Consequences of inbreeding and reduced genetic variation on tolerance to cadmium stress in the midge *Chironomus riparius*. *Aquatic Toxicology* 85: 278–284.
- Ren L, Li W, Tang C, Xiao J, Tan X, Tao M, Liu S. 2015. Homoeologue expression insights into the basis of growth heterosis at the intersection of ploidy and hybridity in Cyprinidae (*Carassius auratus* red var. × *Cyprinus carpio*). *Bibliotheca Orientalis* 14: 1–22.
- Shikano T, Taniguchi N. 2002. Relationships between genetic variation measured by microsatellite DNA marker and fitness-related trait in the guppy *Poecilia reticulata*. *Aquaculture* 209: 77–90.
- Silva SS, Nguyen TT, Abery NW, Amarasinghe US. 2006. An evaluation of the role and impacts of alien finfish in Asian inland aquaculture. *Aquaculture Research* 37: 1–17.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2000. Produksi induk ikan lele dumbo *Clarias gariepinus* × *C. fuscus* kelas induk pokok (parent stock). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sunarna A, Nurhidayat MA, Maskur. 2005. Genetic improvement of African catfish *Clarias gariepinus* using backcross strategy in Indonesia. Di dalam: *World Aquaculture 2005*. Bali: World Aquaculture Society Meeting.
- Takeda Y, Tanaka M. 2007. Freshwater adaptation during larval, juvenile and immature periods of starry flounder *Platichthys stellatus* stone flounder *Kareius bicoloratus* and their reciprocal hybrids. *Journal of Fish Biology* 70: 1.470–1.483.
- Thanh NM, Nguyen NH, Ponzoni RW, Vu NT, Barnes AC, Mather PB. 2010. Estimates of strain additive and non-additive genetic

- effects for growth traits in a diallel cross of three strains of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Vietnam. *Aquaculture* 299: 30–36.
- Wachirachaikarn A, Rungsin W, Srisapoome P, Na-nakorn U. 2009. Crossing of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), strains based on strain selection using genetic diversity data. *Aquaculture* 290: 53–60.
- Yong-Sulem S, Tchantchou L, Nguéfac F, Brummett RE. 2006. Advanced nursing of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings in earthen ponds, through recycling of tilapia recruits. *Aquaculture* 256: 212–215.
- Zhong C, Song Y, Wang Y, Li Y, Liao L, Xie, Zhu Z, Hu W. 2012. Growth hormone transgene effects on growth performance are inconsistent among offspring derived from different homozygous transgenic common carp *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture* 356: 404–411.