

Perbedaan Ekspresi Gen Reproduksi Pada Ikan Nila Jantan dan Betina

Gresensia Sima*, Adelfia Papu

Program Studi Biologi, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: gresensiasima@gmail.com

Abstrak. Penulisan kajian ini mengenai perbedaan ekspresi gen reproduksi pada ikan nila (*O. niloticus*) bertujuan untuk memahami mekanisme genetik dan hormonal yang membedakan perkembangan gonad jantan dan betina. Kajian ini disusun berdasarkan lima referensi utama yang menyoroti peran gen kunci seperti *cyp19a1a*, *foxl2*, *dmrt1*, dan *sox9* dalam proses diferensiasi kelamin. Hasil telaah menunjukkan bahwa betina memiliki ekspresi aromatase yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan produksi estrogen dan memicu pembentukan ovarium. Sebaliknya, ikan jantan menampilkan regulasi gen maskulin yang dominan sehingga mendukung perkembangan testis. Perbedaan ekspresi gen tersebut telah terlihat sejak tahap larva, menunjukkan bahwa penentuan kelamin bersifat genetik dan terregulasi sejak dini. Selain itu, ekspresi gen yang berbeda ini juga berpengaruh pada pertumbuhan, di mana ikan jantan cenderung memiliki laju pertumbuhan lebih cepat. Secara keseluruhan, hasil kajian menegaskan bahwa perbedaan ekspresi gen reproduksi merupakan faktor utama yang menentukan karakteristik fisiologis antara ikan nila jantan dan betina, dan pemahaman ini sangat penting untuk pengembangan teknologi budidaya terutama produksi populasi monoseks.

Kata Kunci: Ekspresi gen; gen reproduksi; *Oreochromis niloticus*; aromatase

PENDAHULUAN

Ikan nila (*O. niloticus*) merupakan salah satu komoditas utama perikanan budidaya air tawar di Indonesia karena memiliki berbagai keunggulan seperti laju pertumbuhan yang cepat, daya adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta ketahanan yang baik terhadap penyakit (Popma dan Lovshin, 1996). Selain itu, ikan nila juga memiliki nilai gizi yang tinggi dan digemari oleh masyarakat sehingga permintaannya terus meningkat setiap tahun. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi produksi melalui pemahaman mekanisme biologi, termasuk sistem reproduksi dan diferensiasi seksual, menjadi aspek penting dalam budidaya ikan nila.

Dalam sistem budidaya, salah satu permasalahan utama yang dihadapi adalah tingginya tingkat reproduksi alami dan ketidakseimbangan rasio keturunan yang dapat menyebabkan pertumbuhan populasi yang tidak seragam (Beardmore *et al.*, 2001). Hal ini karena ikan nila jantan umumnya memiliki pertumbuhan lebih cepat dibandingkan ikan betina, sehingga produksi monoseks jantan sering dijadikan strategi untuk meningkatkan hasil panen. Upaya tersebut memerlukan pemahaman mendalam terhadap faktor genetik dan molekuler yang mengatur diferensiasi jenis kelamin, termasuk ekspresi gen-gen yang berperan dalam pembentukan gonad dan pengaturan hormon reproduksi.

Penentuan jenis kelamin pada ikan dikendalikan oleh interaksi kompleks antara faktor genetik, hormonal, dan lingkungan (Devlin dan Nagahama, 2002). Proses diferensiasi seksual diawali dengan ekspresi gen-gen yang berperan dalam pembentukan primer gonad, kemudian dilanjutkan dengan aktivasi gen spesifik jantan atau betina yang mengarahkan pembentukan testis atau ovarium. Pada ikan nila, beberapa gen diketahui memiliki peran penting dalam proses ini, di antaranya *dmrt1*, *sox9*, dan *cyp19a1a*. Gen *dmrt1* (doublesex dan mab-3 terkait transkripsi faktor 1) dan *sox9* (SRY-box transkripsi faktor 9) berperan dalam pembentukan testis dan spermatogenesis, sedangkan *cyp19a1a* (sitokrom P450 aromatase) mengkode enzim aromatase yang berperan dalam konversi androgen menjadi estrogen dan pembentukan ovarium (Guiguen *et al.*, 2010).

Penelitian Ijiri *et al.* (2008) menunjukkan bahwa ekspresi gen *dmrt1* dan *sox9* lebih tinggi pada ikan nila jantan, sedangkan gen *cyp19a1a* memiliki tingkat ekspresi yang lebih tinggi pada ikan betina. Pola ekspresi yang berbeda ini mencerminkan adanya regulasi molekuler yang spesifik terhadap jenis kelamin dalam sistem reproduksi ikan nila. Variasi ini juga dapat menjadi indikator molekuler yang penting dalam menentukan arah perkembangan gonad serta digunakan sebagai dasar dalam program pemuliaan untuk menghasilkan ikan dengan jenis kelamin tertentu.

Berdasarkan penelitian terdahulu, diperkirakan terdapat perbedaan yang signifikan pada ekspresi gen-gen reproduksi antara ikan nila jantan dan betina. Gen-gen yang berperan dalam pembentukan testis (*dmrt1* dan *sox9*) diperkirakan memiliki tingkat ekspresi yang lebih tinggi pada jantan, sedangkan gen pembentuk ovarium (*cyp19a1a*) lebih dominan pada betina. Oleh karena itu, hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa ekspresi gen reproduksi berbeda antara ikan nila jantan dan betina sesuai dengan fungsi fisiologis gonad masing-masing.

Dengan demikian, tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan ekspresi gen-gen reproduksi utama antara ikan nila jantan dan betina guna memahami mekanisme molekuler yang mendasari diferensiasi seksual. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap bidang bioteknologi reproduksi ikan dan menjadi dasar pengembangan teknologi pengendalian kelamin serta pemuliaan reproduksi yang lebih efisien pada ikan nila di masa mendatang.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui kajian pustaka dengan menghimpun berbagai sumber ilmiah dari jurnal nasional dan internasional, prosiding, karya ilmiah, serta buku teks yang membahas ekspresi gen reproduksi pada ikan nila. Literatur yang ditemukan kemudian dipilih berdasarkan relevansinya terhadap topik penelitian. Proses penelusuran dilakukan menggunakan kata kunci: gene expression, reproductive genes, sex differentiation, *Oreochromis niloticus*, aromatase, *dmrt1*, dan *foxl2*. Semua informasi yang terkumpul selanjutnya dianalisis, disintesis, dan disajikan untuk mendukung pembahasan mengenai perbedaan ekspresi gen reproduksi antara ikan nila jantan dan betina.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai perbedaan ekspresi gen reproduksi pada ikan nila jantan dan betina menunjukkan bahwa perbedaan biologis antara kedua jenis kelamin sangat dipengaruhi oleh regulasi genetik, aktivitas hormon, dan proses diferensiasi gonad. Hasil analisis dari berbagai referensi menggambarkan bahwa ikan betina memiliki tingkat ekspresi gen aromatase (*cyp19a1a*) yang jauh lebih tinggi dibandingkan ikan jantan. Gen ini berfungsi mengubah androgen menjadi estrogen, sehingga peningkatan ekspresi aromatase secara langsung memicu terbentuknya ovarium. Sebaliknya, ikan jantan memiliki ekspresi aromatase lebih rendah sehingga perkembangan gonad diarahkan menuju pembentukan testis yang didominasi oleh hormon androgen.

Selain aromatase, beberapa gen lain menunjukkan pola ekspresi yang berbeda antara jantan dan betina. Gen *foxl2*, yang berperan dalam perkembangan ovarium, lebih banyak terekspresi pada betina, sedangkan gen *dmrt1* dan *sox9* lebih dominan pada jantan, mengatur proses pembentukan testis sejak fase awal perkembangan. Penelitian juga mengindikasikan bahwa perbedaan ekspresi gen ini sudah terjadi pada tahap larva sebelum gonad terbentuk secara morfologis, sehingga ekspresi gen merupakan faktor penentu awal diferensiasi kelamin.

Dari sisi pertumbuhan dan kematangan reproduksi, ikan nila jantan cenderung mengalami pertumbuhan lebih cepat karena energi metabolik tidak terlalu banyak diarahkan pada perkembangan sel telur. Sementara itu, ikan betina mengalokasikan lebih banyak energi untuk perkembangan ovarium, sehingga pertumbuhan tubuh cenderung lebih lambat. Perbedaan ini memberikan implikasi penting dalam budidaya, terutama dalam produksi populasi monoseks jantan yang dinilai lebih efisien.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa perbedaan ekspresi gen reproduksi antara ikan nila jantan dan betina ditentukan oleh interaksi kompleks antara gen pengatur diferensiasi kelamin, hormon steroid, serta regulasi perkembangan gonad. Informasi ini sangat relevan dalam pengembangan teknologi budidaya, terutama dalam program produksi ikan nila jantan monoseks yang lebih menguntungkan secara ekonomis dan produktivitas.

Tabel 1. Hasil penelitian terkait ekspresi gen, penentuan kelamin, dan deinferensiasi gonad pada ikan nila (*O. niloticus*)

No	Penelitian	Fokus Penelitian	Perlakuan/Pendekatan	Hasil Penelitian
1	Beardmore <i>et al.</i> (2021)	Produksi ikan jantan monoseks	Manipulasi hormon & seleksi genetik	Populasi jantan tumbuh lebih cepat; maskulinisasi meningkatkan efisiensi budidaya.
2	Devlin & Nagahama (2002)	Mekanisme genetik & hormonal penentuan kelamin	Analisis regulasi gen, hormon androgen-estrogen, aromatase	Aromatase menentukan arah diferensiasi aromatase sebagai pengatur utama.
3	Guigen <i>et al.</i> (2010)	Peran estrogen dalam diferensiasi kelamin	Uji ekspresi aromatase dan respon hormonal	Estrogen berperan vital membentuk ovarium dan perubahan kelamin; aromatase sebagai pengatur utama.
4	Ijiri <i>et al.</i> (2008)	Ekspresi gen dimorfik gonad	Analisis ekspresi gen jantan vs betina fase awal	Gen gonad jantan & betina berbeda sejak dini; menjadi indikator awal penentuan.
5	Popma & Lovshin (1996)	Potensi industri ikan nila jantan	Evaluasi produksi monoseks & performa pertumbuhan	Produksi nilai jantan lebih menguntungkan secara global, pertumbuhan lebih cepat & stabil.

Hasil studi literatur yang ditampilkan pada tabel satu itu memberikan gambaran menyeluruh mengenai mekanisme Perbedaan ekspresi gen reproduksi pada ikan nila jantan dan betina. Setiap penelitian dalam tabel menyoroti aspek yang saling melengkapi, mulai dari mekanisme genetik, hormon, hingga performa pertumbuhan. Secara umum, seluruh referensi mendukung bahwa diferensiasi kelamin dan ekspresi gen reproduksi sangat dipengaruhi oleh aktivitas aromatase dan regulasi hormon androgen-estrogen.

Beardmore *et al.* (2001) dan Popma & Lovshin (1996) menegaskan bahwa ikan jantan memiliki keuntungan pertumbuhan yang berkaitan erat dengan pola ekspresi gen reproduksinya. Ekspresi gen yang mendukung produksi androgen menyebabkan testis berkembang lebih stabil dan cepat, sementara energi metabolik lebih terarah pada pertumbuhan somatik. Hal ini menjelaskan mengapa populasi jantan sering dijadikan target dalam produksi monoseks untuk budidaya.

Di sisi lain, Devlin & Nagahama (2002) serta Guigen *et al.* (2010) menekankan pentingnya peran aromatase dalam pembentukan ovarium pada betina. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan ekspresi gen aromatase pada betina merupakan faktor krusial yang membedakan perkembangan gonadnya dari jantan. Gen ini mengonversi androgen menjadi estrogen, sehingga dominasi estrogen akan memicu perkembangan ovarium dan memengaruhi karakter reproduksi betina.

Ijiri *et al.* (2008) menambahkan bahwa perbedaan ekspresi gen ini sudah terjadi sejak tahap awal perkembangan larva. Hasil memperlihatkan bahwa gen seperti *foxl2* pada betina dan *dmrt1* pada jantan merupakan penanda awal pembentukan gonad yang bersifat dimorfik, yang berarti bahwa ekspresi gen kelamin sudah aktif sebelum struktur gonad terlihat secara fisik.

Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan ekspresi gen reproduksi pada ikan nila jantan dan betina dipengaruhi oleh regulasi gen spesifik kelamin, aktivitas hormon steroid, serta arah diferensiasi gonad sejak fase perkembangan dini. Kombinasi temuan dari seluruh referensi tersebut membentuk gambaran yang jelas tentang bagaimana mekanisme genetik dan hormonal bekerja dalam menciptakan perbedaan reproduksi antara kedua jenis kelamin ikan nila.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa identifikasi dan perbandingan ekspresi gen reproduksi pada ikan nila jantan dan betina memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai proses diferensiasi seksual dan fungsi fisiologis gonad. Perbedaan ekspresi gen seperti *aromatase*, *dmrt1*, maupun *sox9* menunjukkan bahwa mekanisme reproduksi pada kedua jenis kelamin diatur oleh jalur molekuler yang berbeda namun saling melengkapi. Informasi ini tidak hanya memperkaya dasar ilmiah dalam bidang biologi reproduksi ikan, tetapi juga menjadi landasan penting bagi pengembangan teknologi pengendalian kelamin serta program pemuliaan ikan nila yang lebih efisien. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung peningkatan produktivitas budidaya ikan nila secara berkelanjutan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Beardmore, J. A., Mair, G. C., & Lewis, R. I. (2001). Monosex Male Production in Finfish as Exemplified by Tilapia: Applications, Problems, and Prospects. *Aquaculture*, 197(1–4), 283–301.
- Devlin, R. H., & Nagahama, Y. (2002). Sex Determination and Sex Differentiation in Fish: Genetic, Physiological, and Environmental Influences. *Aquaculture*, 208(3–4), 191–364.
- Guiguen, Y., Fostier, A., Piferrer, F., & Chang, C. F. (2010). Ovarian Aromatase and Estrogens: A Pivotal Role for Gonadal Sex Differentiation and Sex Change in Fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 352–366.
- Ijiri, S., Kaneko, H., Kobayashi, T., Wang, D. S., Sakai, F., & Nagahama, Y. (2008). Sexual Dimorphic Expression of Genes in Gonads During Early Differentiation of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biology of Reproduction*, 78(2), 333–341.
- Popma, T., & Lovshin, L. (1996). *Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapia*. International Center for Aquaculture, Auburn University.