

APLIKASI REKAYASA GENETIK PADA BUDIDAYA IKAN DI INDONESIA

Otong Zenal Arifin, Muhammad Hunaina Fariddudin Ath-thar, dan Rudhy Gustiano

Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar
Jl. Raya Sempur No. 1, Bogor
E-mail: zenalarifin@gmail.com

ABSTRAK

Perbaikan mutu genetik ikan merupakan suatu langkah lanjut dari kegiatan budidaya ikan yang bertujuan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas suatu komoditas apabila teknologi budidaya sudah optimal diterapkan. Strategi perbaikan mutu genetik dapat dilakukan baik secara konvensional melalui seleksi dan hibridisasi atau molekuler melalui rekayasa genetik. Di Indonesia, upaya perbaikan mutu genetik melalui rekayasa genetik telah mulai dilakukan sejak tahun 1980. Rekayasa genetik yang pertama kali diterapkan adalah manipulasi set kromosom untuk menghasilkan klon ginogen yang dapat mempercepat pemurnian galur dan poliploid untuk menghasilkan populasi ikan yang memiliki set kromosom lebih dari 2N. Aplikasi rekayasa genetik yang kedua adalah manipulasi kelamin untuk memanfaatkan potensi "sexual dimorphisms" pada pertumbuhan ikan konsumsi dan sifat eksotis pada ikan hias. Aplikasi rekayasa genetik yang ketiga adalah transgenik atau DNA rekombinan. Teknologi, aplikasi, perkembangan, potensi, dan manfaat rekayasa genetik di atas bagi perkembangan budidaya ikan di Indonesia diuraikan dalam makalah ini.

KATA KUNCI: mutu genetik, rekayasa genetik, manipulasi kromosom, transgenik

PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir kecenderungan penurunan mutu genetik ikan budidaya telah menurunkan efisiensi usaha budidaya yang telah menjadi masalah yang cukup serius untuk segera ditanggulangi. Faktor yang turut berperan dalam penurunan mutu genetik di atas adalah akibat manajemen induk dan benih yang tidak terkontrol pada usaha pembenihan sebagaimana dikemukakan oleh Gustiano & Prihadi (2006). Untuk mengatasi masalah tersebut harus dilakukan perbaikan mutu genetik agar dapat diperoleh jenis-jenis ikan yang dapat dibudidayakan

secara intensif pada lahan terbatas, mampu menampilkan pertumbuhan yang baik pada kondisi lingkungan perairan yang marginal dan memiliki keunggulan dari aspek ekonomis.

Program perbaikan mutu genetik yang dapat diterapkan adalah seleksi dan hibridisasi. Seleksi merupakan suatu teknik pemuliaan klasik untuk memperbaiki sifat yang terukur (quantitative trait). Prinsip dasar dari seleksi ini adalah mengeksploitasi sifat *additive* dari alela-alela pada semua lokus yang mengontrol sifat terukur untuk memperbaiki suatu strain ikan (Kirpichnikov, 1981). Sedangkan hibridisasi adalah memanfaatkan sifat heterosis karena sifat dominan dan heterozigot pada banyak lokus (Kapusckinski & Jacobson, 1987) atau interaksi dari alela pada lokus (Tave, 1993).

Dengan adanya program perbenihan yang terencana dengan matang seringkali seleksi dan hibridisasi dapat saling melengkapi untuk pencapaian hasil akhir yang optimal. Selain itu, ketersediaan teknologi rekayasa kromosom dan manipulasi kelamin, serta transgenik (DNA rekombinan) dapat digunakan untuk mempercepat pencapaian hasil seleksi atau hibridisasi. Berkaitan dengan upaya perbaikan mutu genetik, dalam makalah ini akan dibahas teknologi perbaikan mutu genetik yang telah diterapkan pada ikan budidaya di Indonesia.

REKAYASA KROMOSOM

Rekayasa kromosom adalah suatu teknik untuk mengubah kromosom ikan normal diploid (2N) hasil kontribusi 1N set kromosom betina dan 1N jantan. Pada rekayasa kromosom, individu normal 2N dapat dibuat dengan sumber kromosom dari betina (ginogenesis) atau jantan saja (androgenesis), serta jumlah kromosom dapat ditingkatkan menjadi poliploid (3N atau 4N). Penerapan teknologi rekayasa kromosom di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1985 (Gustiano & Sumantadinata, 1987). Namun demikian perkembangan teknologi ini dalam konteks perbaikan mutu genetik ikan tidak berjalan sebagaimana diharapkan karena tidak diletakkan dalam kerangka program *breeding* yang besar dan terarah. Di bawah ini akan disampaikan hasil-hasil telah diperoleh dan dilakukan di Indonesia.

Ginogenesis

Sebagaimana diketahui bahwa seleksi yang telah dilakukan di Indonesia sebelum tahun 1985 adalah bertujuan untuk melakukan pemurnian pada sifat-sifat kualitatif dengan cara menyeleksi berdasarkan penampilan luar atau fenotip. Dengan adanya teknologi rekayasa kromosom pencapaian hasil seleksi untuk pemurnian dapat dipercepat (Ahmad & Gustiano, 1990). Ikan ginogenesis diperoleh dari telur yang telah dibuahi oleh sperma yang telah dirusakkan intinya dengan radiasi ultra violet, kemudian diberi kejutan termal (panas atau dingin) pada tahap perkembangan embrio tertentu. Apabila pemberian kejutan dilakukan pada stadia meiosis maka akan terbentuk individu "meiotik ginogenesis", sedangkan apabila pemberian kejutan dilakukan pada stadia mitosis atau pembelahan dua sel maka akan dihasilkan individu "mitotik ginogenesis". Teknologi untuk menghasilkan meiotik dan mitotik ginogenesis telah dikemukakan oleh (Ahmad & Gustiano, 1990; Sumantadinata *et al.*, 1990; Gustiano *et al.*, 1991). Sedangkan androgenesis adalah kebalikan dari ginogenesis dimana sifat yang diturunkan hanya berasal dari jantan. Kedua teknik rekayasa kromosom tersebut telah berhasil diterapkan pada banyak jenis ikan air tawar (Ahmad & Gustiano, 1990). Namun demikian yang banyak dilakukan di Indonesia hanya ginogenesis.

Metode ginogenesis dapat digunakan untuk mengeliminasi problem *inbreeding* melalui produksi ikan/strain dengan tingkat kemurnian tinggi yang dapat digunakan pada kegiatan hibridisasi. Keberhasilan ginogenesis telah dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai sumber sperma pada telur ikan mas (Gustiano *et al.*, 1990; Sumantadinata *et al.*, 1990).

Hasil evaluasi terhadap benih-benih ginogenetik memperlihatkan bahwa generasi kedua ginogenesis menunjukkan penurunan keragaman karakter-karakter terukur (kuantitatif) yang merupakan indikasi terjadinya peningkatan homozigositas (Sumantadinata & Taniguchi, 1990). Kemungkinan besar dari pemisahan (segregasi) karakter heterozigot terdeteksi oleh adanya variasi pola sisik dan bentuk sirip pada benih ginogenetik yang diperoleh. Ikan mas betina strain "Kumpai" menghasilkan dua jenis bentuk sirip pada benih ginogenetik. Pertama adalah bentuk sirip kumpai atau panjang (41,0%) yang memiliki simbol genetik KK, dan yang kedua adalah bentuk sirip normal (59,0%) dengan simbol kk (Sumantadinata & Taniguchi, 1994).

Dalam perikanan budidaya, ikan ginogenesis menjadi sangat penting terutama bagi ikan-ikan yang betinanya memiliki pertumbuhan lebih cepat dibandingkan dengan

ikan jantan seperti pada jenis cyprinid. Di samping untuk memproduksi ikan betina, ikan ginogenesis mempunyai arti sangat penting dalam usaha perbaikan mutu genetik di antaranya dalam memproduksi turunan yang 100% homozigot atau klon (Sugama, 2006). Ikan klon sangat berguna untuk mencari gena penciri yang mengontrol karakter tertentu dalam usaha perbaikan mutu genetik ikan. Apabila beberapa kelompok ikan klon dengan genotip yang berbeda dipelihara dalam lingkungan yang sama, maka akan terlihat perbedaan pertumbuhan pada masing-masing klon. Sedangkan ikan-ikan klon dengan genotip yang sama akan tumbuh seragam. Selanjutnya dapat dikemukakan bahwa apabila ikan klon dengan genotip berbeda diinfeksi dengan dengan organisme patogen yang mematikan maka diperoleh beberapa klon resisten yang dapat menghasilkan gen pengontrol ciri penyakit tertentu.

Poliploidi

Secara teori ikan poliploid (3N dan 4N) akan tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan ikan normal diploid (2N). Ikan triploid (3N) dapat diproduksi dengan cara memberikan kejutan panas atau dingin terhadap telur yang dibuahi oleh sperma ikan jantan normal pada stadia meiotik. Dengan demikian ikan triploid memiliki 2N kromosom dari betina dan 1N kromosom dari jantan. Hasil pengujian keragaan ikan triploid dibandingkan dengan ikan normal tidak selalu memberikan hasil yang positif (Sugama, 2006). Di Indonesia, keberhasilan pembentukan ikan triploid melalui kejutan panas pada ikan mas telah dilaporkan oleh Gustiano & Prihadi (1995). Pada pengujian ikan lele triploid didapatkan bahwa tidak terdapat perbedaan ketahanan penyakit dibandingkan dengan ikan lele diploid (Taufik & Gustiano, 2000). Sugama *et al.* (1992) melaporkan bahwa ikan kakap merah triploid yang dipelihara dalam keramba jaring apung memiliki pertumbuhan yang tidak berbeda dengan jenis diploid. Secara umum, penggunaan ikan triploid belum banyak digunakan secara komersil, kecuali pada kekerangan (Guo *et al.*, 1996). Khusus ikan "grass carp" lebih banyak digunakan untuk mengendalikan populasi yang dapat digunakan untuk mengontrol gulma di suatu perairan waduk atau perairan tertutup.

Untuk ikan tetraploid (4N), jenis ini dapat diproduksi dengan cara yang sama dengan triploid hanya pemberian kejutan dilakukan pada saat terjadi pembelahan sel pertama. Individu tetraploid dibentuk dari 2N kromosom betina dan 2N kromosom jantan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan produksi ikan tetraploid lebih rendah dibandingkan dengan jenis triploid karena larva yang baru menetas kebanyakan abnormal dan

mati (Pandian & Koteeswaran, 2004; Sakao *et al.*, 2006). Abnormalitas yang terjadi pada larva adalah akibat tidak sempurna duplikasi pasangan kromosom yang diharapkan.

MANIPULASI DAN KONTROL KELAMIN DENGAN HORMON

Jenis kelamin suatu ikan secara genetis sudah ditetapkan pada waktu pembuahan (Matty, 1985). Namun gonad ikan yang baru menetas belum berdiferensiasi menjadi jantan atau betina (Zairin, 2002). Determinasi seks merupakan mekanisme untuk mengarahkan diferensiasi seks di mana diferensiasi seks adalah perkembangan testis ataupun ovarium dari gonad yang belum berdiferensiasi (Hayes, 1998). Proses determinasi dan diferensiasi seks pada ikan sangat labil dan memungkinkan untuk dimanipulasi secara ploidi, menggunakan hormon, kejutan suhu, dan faktor lingkungan yang lain. Berdasarkan hal tersebut dikenal teknik untuk memanipulasi dan mengontrol kelamin ikan menggunakan hormon. Pengendalian kelamin dan aktivitas reproduksi pada ikan adalah salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas ikan dalam kegiatan akuakultur. Dalam budidaya perikanan dikenal istilah budidaya ikan berkelamin tunggal (monosex).

Proses perkembangan dan mekanisme determinasi kelamin pada ikan memungkinkan kita untuk memanipulasi kelamin pada ikan. Meskipun genotip jantan atau betina ditentukan saat pembuahan, namun determinasi fenotip kelamin terjadi pada proses perkembangan dan waktu determinasi tersebut bervariasi tergantung spesiesnya (Dunham, 2004).

Zairin (2003) menyatakan bahwa tujuan utama membentuk populasi ikan berkelamin tunggal baik jantan maupun betina saja adalah untuk memperoleh pertumbuhan yang lebih cepat, mengontrol reproduksi dan mendapatkan penampilan yang lebih baik. Ditambahkan oleh Strussman *et al.* (2004) tujuan dari pembentukan populasi berkelamin tunggal adalah untuk menghindari kerusakan biodiversitas dan menghindari introduksi gen yang telah dimodifikasi pada ikan transgenik.

Produksi populasi ikan berkelamin tunggal dapat dilakukan dengan pemberian hormon secara langsung (Dunham, 2004). Yamazaki (1983) menyatakan bahwa fisiologi seksual dapat dimanipulasi dengan menggunakan hormon steroid. Hormon steroid dapat memanipulasi proses diferensiasi gonad, gametogenesis, ciri-ciri kelamin sekunder, ovulasi, dan spermiasi. Tingkat keberhasilan penggunaan hormon mengarahkan pembentukan kelamin dipengaruhi oleh beberapa hal

antara lain jenis hormon, lama perlakuan, metode, fase benih/embrio, suhu, teknik perlakuan, dan lain-lain.

Di Indonesia teknik alih kelamin yang diterapkan ada dua yaitu jantanisasi (menghasilkan jantan) dan feminisasi (menghasilkan betina) (Zairin, 2003). Secara umum, maskulinisasi dilakukan dengan pemberian hormon androgen 17α -methyltestosterone (Zairin, 2002). Sedangkan untuk feminisasi dilakukan dengan pemberian hormon estrogen seperti 17β -estradiol

Selain steroid ada beberapa senyawa non-steroid yang dapat digunakan dalam proses alih kelamin. Salah satu contoh bahan yang bisa digunakan adalah akriflavin (Zairin, 2002) dan madu (Djaelani, 2007; Sukmara, 2007). Bahan alternatif lain yang dapat digunakan untuk pengarahannya kelamin ikan yaitu *aromatase inhibitor* (AI). AI bekerja dengan cara menghambat produksi estradiol- 17β . Menurut Suhanti (2003), pemberian pakan yang dicampur AI pada ikan nila yang berumur 9 hingga 13 hari setelah menetas dapat menghasilkan nila jantan sebanyak 74%.

Pengalihan kelamin melalui pakan (oral)

Pada teknik alih kelamin, pemberian hormon dilakukan dengan beberapa cara yang didasarkan pada faktor efektivitas, efisiensi, palatabilitas, kemungkinan polusi, biaya, karakteristik budidaya, dan perkembangan spesies ikan. Beberapa teknik yang dikembangkan dalam pemberian hormon untuk alih kelamin di antaranya adalah dengan oral. Teknik oral ini dilakukan dengan pemberian melalui pakan buatan dan pakan alami. Teknik oral melalui pakan buatan telah banyak dilakukan pada ikan dan udang. Sedangkan pemberian secara oral melalui pakan alami (*artemia*) yang direndam *aromatase inhibitor* (AI) dilakukan oleh Tasdiq (2005) pada ikan nila merah dapat menghasilkan 70,46% jantan. Aristya (2006) melakukan pemberian hormon melalui daphnia yang telah direndam AI pada ikan lele dapat memperoleh 51,87% jantan.

Pengalihan kelamin dengan perendaman

Teknik perendaman ini dilakukan pada berbagai fase di antaranya adalah pada fase embrio, larva maupun induk. Pada fase embrio yang dilakukan pada ikan lele menggunakan AI menghasilkan dosis 30% mg/L efektif untuk meningkatkan persentase jantan sebanyak 67,46% (Jufrie, 2006). Pada fase larva, Utomo (2006) berhasil melakukan alih kelamin ikan lele menggunakan AI sebesar 72,90% pada larva yang berumur 0 hari. Pada ikan gapi *Poecilia reticulata* berhasil didapatkan persentase jantan sebesar 46,99% setelah dilakukan perendaman terhadap larva selama 10 jam (Sukmara, 2007). Metode perendaman yang lain adalah pada induk. Jayanthi (2007) berhasil mendapatkan 99,4% jantan setelah melakukan

perendaman induk plati pedang *Xiphoporus helleri* pada hormon 17α -methyltestosterone dengan dosis 4 mg/L.

Teknik lain yang digunakan adalah teknik implantasi untuk pemberian hormon. Teknik ini telah berhasil dilakukan oleh Harijanto (2006) pada induk ikan lele dumbo yang telah diovariectomi parsial kemudian diimplant hormon 17α -methyltestosterone.

Pembentukan jantan dan betina super

Selain dengan pemberian hormon secara langsung pada satu generasi dikenal juga teknologi induk jantan YY. Induk ini digunakan untuk membuat induk yang dapat menghasilkan benih tunggal kelamin jantan. Teknik ini dilaporkan pertama kali oleh Scott *et al.* (1989), sedangkan di Indonesia baru dilakukan pada tahun 2004 (Arifin *et al.*, 2004). Tahapan pembentukan induk jantan YY terdiri atas 3 (tiga) tahapan yaitu tahap feminisasi (pembalikan kelamin dari jantan genotip menjadi betina fenotip (XY) dengan hormon steroid), tahap uji progeny (mengawinkan ikan jantan normal (XY) dengan betina fenotip (XY) hasil pengalihan kelamin) dan tahap produksi (mengawinkan ikan jantan super homogamet (YY) dengan betina normal (XX)).

TRANSGENIK

Prinsip teknologi transgenik adalah perubahan secara buatan pada genom akibat penambahan/pengurangan/perubahan susunan asli secara rekombinan DNA dengan cara memindahkan satu atau beberapa gen, dalam potongan DNA asing yang menyandikan sifat tertentu, dari suatu organisme ke dalam organisme lain. DNA rekombinan (rDNA) adalah kombinasi ulang (rekombinasi) atau penggabungan ulang gen dari sumber yang berbeda secara *in vitro*. Teknologi DNA rekombinan dimulai sekitar tahun 1970, berkembang semenjak ditemukannya struktur DNA oleh Watson & Crick tahun 1953 dan sejak saat itu telah menghasilkan kemajuan dalam berbagai bidang antara lain beberapa rekombinan di bidang peternakan, farmasi, dan beberapa produk bioaktif lainnya. Di bidang perikanan, aplikasi teknologi transgenik telah dilakukan sejak tahun 1985 pada berbagai jenis ikan seperti ikan koki, trout pelangi, lele, mas, medaka, salmon, abalon, nila, *dwarf surfclam*, zebra, kakap, *ice goby*, *mud loach* dan *cryfish* (Alimuddin, 2005).

Produk-produk teknologi transgenik telah menjanjikan harapan besar untuk dikembangkan di masa kini dan masa yang akan datang karena dapat meningkatkan karakteristik produksi. Kemampuan untuk mentransfer gen baru dan menghasilkan genotif yang lebih cepat dibandingkan dari yang dapat dicapai melalui penggunaan metode seleksi

secara tradisional. Teknik transgenik ini memodifikasi ciri produksi dari organisme bernilai ekonomis penting secara komersial. Selain itu, dapat menyediakan data-data tentang studi ekspresi gen dan aksi hormon. Meskipun di Indonesia aplikasi teknologi transgenik masih dalam taraf skala uji coba, diharapkan pengembangannya akan dapat mempercepat target perubahan yang akan dicapai.

Aplikasi dan hasil yang telah dicapai untuk menghasilkan produk ikan transgenik yang lebih cepat tumbuh, tahan terhadap penyakit, mempunyai kisaran terhadap lingkungan yang luas dibahas di bawah ini.

Transgenik pada laju pertumbuhan dan konversi pakan

Pertumbuhan merupakan proses biologi yang sangat kompleks, terjadi apabila terdapat kelebihan energi dan materi yang berasal dari pakan yang dikonsumsi. Pertumbuhan terjadi pada beberapa tingkat materi biologi seperti sel, jaringan, organ, organisme, populasi, dan komunitas. Pertumbuhan digambarkan sebagai penambahan jumlah sel (hiperplasia) dan ukuran sel (hipertrofi), di mana jumlah sel dapat diduga dari konsentrasi DNA pada jaringan, sedangkan konsentrasi RNA digunakan untuk menduga ukuran sel. Adapun kandungan DNA relatif konstan dalam sel sedangkan konsentrasi RNA akan berfluktuasi tergantung pada aktivitas sintesis protein. Dengan demikian, rasio RNA:DNA dapat dijadikan penduga bagi aktivitas sintesis protein yang berakhir dalam bentuk penambahan bobot (pertumbuhan).

Berkaitan dengan masalah utama yang berhubungan dengan studi teknologi transgenik pada ikan sampai saat ini berhubungan dengan jumlah dan jenis-jenis ikan yang diuji. Salah satu pembatas studi utama berasal dari efisiensi konversi pakan sepanjang siklus hidup ikan. Pemasukan dari konstruksi gen kepada ikan dapat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap efisiensi konversi pakan. Keuntungan-keuntungan dari teknik ini bervariasi pada berbagai spesies ikan.

Teknologi manipulasi gen untuk meningkatkan laju pertumbuhan dan efisiensi konversi pakan ikan, potensial untuk diaplikasikan dalam industri perikanan. Peningkatan karakteristik pertumbuhan ikan telah dicapai melalui seleksi alami. Efek dramatis terhadap pertumbuhan telah dihasilkan melalui injeksi gen hormon pertumbuhan (growth hormone, GH).

Beberapa penelitian tentang transfer gen hormon pertumbuhan untuk memacu pertumbuhan ikan telah sukses dilakukan seperti pada ikan koki dengan

mMT/hGH (Zhu *et al.*, 1985), ikan trout dengan SV40/hGH (Chourrout *et al.*, 1986), "cathfish" dengan mMT/hGH (Dunham & Eash, 1987), ikan salmon dengan FAFP/fAFP (Fletcher *et al.*, 1988), ikan "loach" dengan mMT/hGH (Benyumov *et al.*, 1989), ikan medaka dengan FLus/fLuc (Tamiya *et al.*, 1990), ikan "pike" dengan RSV/bGH (Guise *et al.*, 1991) dan ikan mas dengan mMT/hGH (Hernandez *et al.*, 1993).

Inseri *growth* hormon yang berasal dari ikan "chinook salmon" telah berhasil meningkatkan laju pertumbuhan dan efisiensi konversi pakan pada ikan Atlantik salmon (Cook *et al.*, 2000). Inseri "all fish" GH "chinook salmon" dengan promotor "ocean pout antifreeze", telah berhasil meningkatkan laju pertumbuhan ikan kakap merah (Zhang *et al.*, 1998). Inseri gen GH "sockeye salmon" telah berhasil meningkatkan laju pertumbuhan dan efisiensi konversi pakan pada ikan trout (Devlin *et al.*, 2001). Pada ikan nila, laju pertumbuhan dan efisiensi konversi pakan berhasil ditingkatkan setelah inseri GH "chinook salmon" dengan promotor "ocean pout antifreeze" (Rahman *et al.*, 2001).

Produksi hormon pertumbuhan pada ikan transgenik telah diproduksi dengan teknik pemurnian, meskipun masih sebatas uji coba. Akan tetapi, dengan perbaikan teknik dan penambahan pengalaman dalam metode inseri gen, telah diproduksi berbagai spesies ikan yang pertumbuhannya cepat. Keberhasilan penerapan teknologi transgenik ini bergantung kepada transfer gen yang diekspresikan dan diwariskan dengan cara yang stabil serta dapat dipridiksi. Teknologi transgenik dapat menyediakan produksi rata-rata bagi "designer fish" untuk pangsa pasar, percepatan penampakan luar dari ikan, tekstur dagingnya, rasa, warna, dan komposisi. Calon gen lain yang memberikan keuntungan pada pertumbuhan ikan termasuk pengaturan pertumbuhan adalah pengkodean untuk pelepasan hormon pertumbuhan dan insulin sebagai faktor pertumbuhan (Fletcher & David, 1991).

Transgenik pada nutrisi

Pengaturan nutrisi pada ikan budidaya berkaitan dengan pentingnya mengubah kapasitas pencernaan ikan seperti kemampuan untuk meningkatkan pencernaan karbohidrat dan protein nabati. Hasil penelitian yang telah dilakukan pada ikan-ikan teleostei memberikan sumbangan yang berarti. Hal ini memungkinkan pemberian izin kepada para pengusaha industri pakan untuk menggunakan komponen pakan yang sedikit lebih rendah kualitasnya. Seperti halnya pada ekspresi enzim fitase dalam ikan-ikan budidaya yang memungkinkan peningkatan kemampuan mencerna fosfor asam phytic

(Mayer & McLean, 1994) yang memungkinkan penggabungan protein nabati dalam pakan, dengan konsekuensi dapat mengurangi bahan pencemar yang mengandung fosfor. Inseri dengan menggunakan *human glucose transporter type I* dan *rat hexokinase type II* telah berhasil mempengaruhi sistem metabolisme karbohidrat pada ikan rainbow trout (Pitkanen *et al.*, 1999).

Transgenik pada kontrol penyakit

Pada pengendalian penyakit, teknologi transgenik atau DNA rekombinan telah memberikan pengaruh dalam mengontrol penyakit pada ikan-ikan, dengan hasil rekombinasi beberapa vaksin secara viral. Dasar genetik dari pertahanan stres pada organisme air sama. Namun demikian, ikan mempunyai ciri-ciri spesifik untuk meningkatkan ketahanannya terhadap stres yang secara genetik dapat diidentifikasi.

Beberapa hasil penelitian telah berhasil mengidentifikasi lisozime pada ikan trout (*Oncorhynchus mykiss*) yang 15 kali lebih aktif dibanding yang ditemukan pada ikan salmon Atlantik (*Salmo salar*) (Grinde, 1988). Transfer gen cecropin B telah berhasil meningkatkan ketahanan terhadap penyakit bakteri pada ikan *Channel catfish*. Pada ikan mas peningkatan ketahanan terhadap penyakit telah dilakukan melalui inseri *human interferon gene* (Zhu, 2001). Gen promotor keratin pada ikan sebelah Jepang (*Japanese flounder*) terekspresi pada jaringan epitelial dan hati ikan zebra transgenik pada berbagai stadia (Yazawa *et al.*, 2005). Transfer gen c-lysozime pada ikan zebra berhasil meningkatkan sintasan dari infeksi *Flavobacterium columnare* dan *Edwardsiella tarda* (Yazawa *et al.*, 2006).

Dengan demikian, penerapan teknologi transgenik dimungkinkan untuk mengkonversi resistensi penyakit pada sebagian besar spesies ikan. Hal ini dapat ditingkatkan melalui manipulasi secara langsung pada sistem kekebalan ikan.

Transgenik pada toleransi lingkungan

Sejumlah spesies ikan-ikan teleostei Arctic dan Antarctic dapat bertahan hidup dalam kondisi yang sangat dingin karena kemampuannya secara genetis untuk menghasilkan protein anti beku (antifreeze protein, AFP). Gen yang mengontrol sintesis dan sekresi dari protein ini telah diisolasi dan dikloning dari spesies yang berbeda. Selanjutnya gen yang mengkode AFP telah sukses ditransfer ke dalam ikan salmon Atlantik. Selain itu, juga telah dihasilkan spesies *Tilapia* yang mampu hidup pada suhu dan salinitas yang tinggi di Afrika Timur. Pada ikan goldfish AFP yang berasal dari *ocean pout* (*Macrozoarces*

americanus) telah berhasil diintroduksi melalui mikroinjeksi fase oocytes (Wang *et al.*, 1995). Jika ikan-ikan tersebut mampu hidup pada keadaan ekstrim yang secara genetik dibutuhkan, hal ini dapat diikuti dengan isolasi beberapa kode gen yang mampu beradaptasi pada kisaran lingkungan yang luas pada sejumlah ikan-ikan yang bernilai ekonomis penting (Fletcher & Davis, 1991).

Penemuan dari Fletcher dan rekan-rekannya tersebut telah memberikan harapan besar terhadap sekresi AFP pada ikan-ikan transgenik yang akan memberikan perluasan terhadap adaptasi kisaran lingkungan yang lebih besar dalam menjalankan usaha perikanan.

Transgenik lainnya

Pada ikan zebra telah diperoleh hasil produksi benih ikan jantan dengan cara injeksi gen enzim aromatese pada telur ikan (Woody, 2002). Penambahan gen yang berasal dari ikan salmon dengan cara melipatgandakan jumlah copy gen yang bekerja dalam sintesa asam lemak HUFAs, maka kadar EPA dan DHA dalam tubuh ikan meningkat sebesar 1,4 dan 2,1 kali lipat daripada ikan biasa (Alimuddin *et al.*, 2004). Pada *Spirulina* sebagai bahan makanan dan kesehatan. Telah berhasil dilakukan integrasi dan terekspresikan *genetically engineered marker gene* (Zhang *et al.*, 2001). Pada ikan cryfish produksi ikan transgenik dengan menginjeksikan neomycin *phosphotransferase gene* (neoR) (Sarmasik *et al.*, 2001).

KESIMPULAN

Aplikasi rekayasa genetik pada ikan budidaya telah banyak diterapkan di Indonesia. Namun demikian, manfaat yang diperoleh belum optimal karena belum tersedianya program besar yang terarah dan berkesinambungan untuk menghasilkan suatu produk yang memberikan manfaat terhadap budidaya secara langsung.

Di masa mendatang diharapkan teknologi yang telah tersedia dapat diaplikasikan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas pembudidaya di Indonesia. Penerapan teknologi sangat tergantung pada status terkini komoditas yang akan diperbaiki kualitas genetiknya dan permasalahan yang dihadapi. Antara satu komoditas dengan komoditas lainnya akan berbeda pendekatan perbaikkan genetik yang dapat diterapkan.

DAFTAR ACUAN

Ahmad, T. & Gustiano, R. 1990. Gynogenesis and androgenesis, the promising tools for aquaculture. *Indonesian Agriculture Research Development Journal* 12: 10—16.

Alimuddin, Yoshizaki, G., Kiron, V., Satoh, S., & Takeuchi, T. 2004. Enhancement of EPA and DHA biosynthesis by over-expression of masu salmon $\Delta 6$ -desaturase-like gene in zebrafish. *Transgenic Res.* (In press).

Alimuddin, Yoshizaki, G., Kiron, V., Satoh, S., & Takeuchi, T. 2005. Enhancement of EPA and DHA biosynthesis by over-expression of masu salmon $\Delta 6$ -desaturase-like gene in zebrafish. *Transgenic Research*, Springer. 14(2): 159—165(7).

Alimuddin, Yoshizaki, G., Kiron, V., Satoh, S., & Takeuchi, T. 2005. Modification of fatty acids composition in zebrafish by expression of masu salmon $\Delta 6$ -desaturase-like gene.

Arifin, O.Z., Kurniasih, T., & Nugroho, E. 2004. Produksi Ikan Jantan Super Homogametik (YY) pada Ikan Nila *Oreochromis niloticus*. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 10: 79—82.

Aristya, Z. 2006. *Efektivitas dosis aromatase inhibitor yang diberikan melalui Daphnia Daphnia sp. Terhadap sex reversal ikan lele sangkuriang Clarias sp.* Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB

Benyumov A.O., Enikolopov G.N., Barmintsev V.A. i dr. Integratsiya i ekspresiya gena somatotropnogo gormona cheloveka u kostistykhn ryb // *Genetika*. 1989. 25(1): 24—35.

Chourrout, D. 1986. Techniques of chromosome manipulation in rainbow trout: a new evaluation with karyology. *Theoretical and Applied Genetics*. 72: 627—632.

Cook, J.T., McNiven, M.A., Richardson, G.F., & Sutterlin, A.M. 2000. Growth rate, feed digestibility and body composition of growth enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 188: 15—32.

Devlin, R.H., Biagi, C.A., Yesaki, T.Y., Smailus, D.E., & Byatt, J.C. 2001. Growth of domesticated transgenic fish. *Nature*. 409: 781—782.

Djaelani, M.F. 2007. *Pengaruh dosis madu terhadap pengarahannya kelamin jantan pada ikan gapi (Poecilia reticulata, Peters) dengan metode perendaman larva.* Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.

Dunham, R.A. 2004. *Aquaculture and Fisheries Biotechnology: Genetic Approaches.* Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Auburn University Alabama. USA. CABI Publishing.

Dunham, R.A., Eash, J., Askins, J., & Townes, T.M. 1987. Transfer of the metallothionein human growth hormone fusion gene into channel catfish.

- Transactions of the American Fisheries Society*. 116: 87—91.
- Fletcher, G.L. & Davis, P.L. 1991. Transgenic Fish for Aquaculture. *Genetic Engineering*. 13: 331—370.
- Fletcher, G.L., Shears, M.A., King, M.J., Davies, P.L., & Hew, C.L. 1988. Evidence for antifreeze protein gene transfer in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 45: 352—357.
- Grinde, B. 1988. Lysozyme from Rainbow Trout, *Salmo gairdneri* Richardson, as an Antibacterial Agent Against Fish Pathogens. *J. Fish Dis.* 12: 95—104.
- Guo, X., DeBrosse, G.A. & Allen, S.K. 1996. All triploid oyster produce by mating tetraploids and diploids. *Aquaculture*. 142: 149—161.
- Gustiano, R. & Sumantadinata, K. 1987. Ginogenesis pada ikan mas dengan radiasi ultra violet dan kejutan dingin. *Bulletin Penelitian Perikanan Darat*. 6: 42—46.
- Gustiano, R. & Dharma, L. 1991. Ginogenesis pada ikan mas dengan sperma yang diradiasi dan kejutan panas pada mitosis I. *Bulletin Penelitian. Perikanan Darat*. 10: 42—48.
- Gustiano, R, Hardjamulia, A., & Dharma, L. 1990. Penggunaan sperma ikan tawes dan nilem terhadap keberhasilan ginogenesis ikan mas. *Bulletin Penelitian Perikanan Darat*. 9: 68—71.
- Gustiano, R. dan T.H. prihadi. 1995. Keberhasilan bioteknologi poliploidi ikan mas melalui kejutan panas. *Dalam Prosiding seminar hasil penelitian perikanan air tawar 1993/1994 (Editors: T.H. Prihadi et al.)*. Sukamandi, Subang. hlm. 525—529.
- Gustiano, R & Prihadi, T.H. 2006. Pemuliaan ikan air tawar di Indonesia. *Dalam 60 tahun perikanan Indonesia (Editor: F. Cholik et al.)*. Masyarakat Perikanan Nusantara. hlm. 165—170. Jakarta.
- Guise KS, Hackett PB, Faras AJ. 1992. Transfer of genes encoding neomycin resistance, chloramphenicol acetyl transferase, and growth hormone into goldfish and northern pike. In: *Transgenic Fish*. CL Hew and Fletcher (eds.). World Scientific Publishing Co., Singapore. p. 142—164.
- Harijanto, A. 2005. *Upaya maskulinisasi induk ikan lele dumbo Clarias sp. yang telah diovariektomi parsial dengan metode implantasi hormon 17 α -metiltestosteron*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.
- Hayes, T.B. 1998. Sex Determination and Primary Sex Differentiation in Amphibians: Genetic and Developmental Mechanisms. *J. Exp. Zool.* 281: 373—399.
- Hernandez, O., Attal, J., Theron, M.C., Puissant, C., Houdebine, L.M. 1993(b). Efficiency of introns from various origins in fish cells. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*. 2(3): 181—188.
- Jufrie, F.M. 2006. *Efektivitas aromatase inhibitor pada perendaman embrio terhadap sex reversal ikan lele sangkuriang Clarias sp.* Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.
- Kapusckinski, A.R. & Jacobson, L.D. 1987. Genetic guidelines for fisheries management. Univ. of Minnesota, USA. pp 66 .
- Kirpichnikov, V.S. 1981. Genetic bases of fish selection. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. pp 410.
- Kobayashi, S.I., Alimuddin, Morita, T., Endo, M., Takeuchi, T., & Yoshizaki, G. 2006. Expression of growth hormone gene decreased ammonia loading in transgenic tilapia. *Aquaculture (In review)*.
- Matty, A.J. 1985. *Fish Endocrinology*. Inggris, pp 265.
- Mayer, I. & McLean, E. 1994. *Bioengineering and Biotechnological Approaches to Reduced Waste Aquaculture*. Water Science. Technology, in Press.
- Pandian, T.J. & Koteeswaran, R. 2004. Ploidy induction and sex control in fish. *Hydrobiologia*. p. 167—243.
- Pitkänen T.I., Krasnov A., Reinisalo M., & Mölsä H. 1999. Transfer and expression of glucose transporter and hexokinase genes in salmonid fish. *Aquaculture*. 173: 319—332.
- Rahman, M.A., Ronyai, A., Engidaw, B.Z., Jauncey, K., Hwang, G., Smith, A., Roderick, E., Penman, D., Varadi, L., & Maclean, N. 2001. Growth performance of transgenic tilapia containing an exogenous piscine growth hormone gene. *Journal of Fish Biology*. 59:62—78.
- Raven, P.H. & G.B. Johnson. 2002. *Biology*. 6th ed. McGraw-Hill Companies, Inc., New York. pp 1,238.
- Sakao, S., Fujimoto, T., Kimura, S., Yamaha, E., & Arai, K. 2006. Drastic mortality in tetraploid induction results from the elevation of ploidy in masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Aquaculture*. 252(2-4)10: 147—160.
- Sarmasik, A., Warr, G., and Chen, T.T. 2002. Production of transgenic medaka with increased resistance to bacterial pathogens. *Marine Biotechnology*. 4: 310—322.
- Scott, AG., Penman, D.J., Beardmore, J.A., & Skibinski, D.O.F. 1989. The 'YY' supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. *Aquaculture*. 78: 237—251.

- Sugama, K., Taniguchi, N., & Seki, S. 1992. Survival growth and gonad development of triploid red sea bream, *Pagrus major*: use of isozyme marker for ploidy and family identification. *Bulletin Aquaculture Fisheries Management*. 45: 112—119.
- Sugama, K. 2006. Perbaikan mutu genetic ikan untuk membangun perikanan budidaya. *Orasi Pengukuhan Professor Riset*. Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta. hlm. 77.
- Suhanti, I.Y. 2003. *Sensitivitas Periode Waktu Pemberian Aromatase Inhibitor melalui Pakan untuk Seks Reversal pada Ikan Nila Merah (Oreochromis sp.)*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB
- Sukmara. 2007. *Sex reversal pada ikan gapy (Poecilia reticulata) secara perendaman larva dalam larutan madu 5 mL/L*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB
- Sumantadinata, K., Taniguchi, N., & Sugama, K. 1990. The necessary conditions and the uses of ultra violet irradiated sperm from different species to induce Indonesian common carp. *In the second Asian Fisheries Forum (Editors: K. Hirano and I. Hanyu)*. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp 539—547.
- Sumantadinata, K & Taniguchi, N. 1990. Study on morphological variation in Indonesian common carp stock. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 56: 879—886.
- Sumantadinata, K. & Taniguchi, N. 1994. Variance of some quantitative characters in the second generation of gynogenetic diploids of the Indonesian common carp. *Journal Tropical Agriculture*. 5: 42—47.
- Tasdiq, Moh. 2005. *Pengaruh pemberian aromatase inhibitor melalui artemia (Artemia sp.) terhadap keberhasilan sex reversal pada ikan nila merah (Oreochromis sp.)*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.
- Taufik, P. & Gustiano, R. 2000. Uji resistensi ikan lele triploid terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Biosfera*. 19: 97—100.
- Tave, D. 1993. Genetics for fish managers. The AVI Publ. Comp. Inc. NY, USA. pp 418.
- Utomo, D.S.C. 2006. *Efektivitas aromatase inhibitor melalui perendaman pada larva ikan lele sangkuriang, Clarias sp. yang berumur 0, 2, dan 4 hari setelah menetas*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.
- Wang, R., Zhang, P., Gong, Z., Hew, C.L. 1995. Expression of the antifreeze protein gene in transgenic goldfish (*Carassius auratus*) and its implication in cold adaptation. *Mol Mar Biol Biotechnol*. 4(1): 20—6.
- Watanabe, T. 1988. Fish nutrition and mariculture. Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of fisheries. JICA. pp 233.
- Woody, T. 2002. The plot to kill the carp. *Wired*(October): 104—106.
- Yamazaki, F. 1983. Sex Control and Manipulation in Fish in N.P. Wilkins (ed): Genetic in Aquaculture. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. pp 329—345.
- Yazawa, R., Hirono, I., & Aoki, T. 2005. Characterization of Promoter Activities of Four Different Japanese Flounder Promoters in Transgenic Zebrafish. *Mar Biotechnol (NY)*. 7(6): 625—633.
- Yazawa, R., Hirono, I., & Aoki, T. 2006. Transgenic Zebrafish Expressing Chicken Lysozyme Show Resistance against Bacterial Diseases. *Transgenic Research, Springer*. 15(3): 385—391(7).
- Zairin, M.Jr. 2002. Memproduksi Benih Ikan Jantan atau Betina, Sex Reversal. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Zairin, M.Jr. 2003. Endokrinologi dan Peranannya bagi Masa Depan Perikanan Indonesia. *Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Reproduksi dan Endokrinologi Hewan Air*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Zhang, W., Subbarao, S., Addae, P., Shen, A., Armstrong, C., Peschke, V., & Gilbertson, L. 2003. Cre/lox mediated marker gene excision in transgenic maize (*Zea mays* L.) plants. *Theor Appl Genet*. 107: 1,157—1,168.
- Zhu, Z., Li, G., He, L., & Chen, S. 1985. Novel gene transfer into the fertilized eggs of gold fish (*Carassius auratus* L.1758). *Angew Ichthyol*. 1: 31—34.