

Pemanfaatan Teknologi CRISPR-CAS9 dalam Mengembangkan

Ikan Lele (*Clarias sp.*) Transgenik

Latif Dwi Cahyo^{1*}, Hemiliona Danu Vita², Ivan Prasetia³, Masrifa Alvian Habibulloh⁴,
Destya Nurul Qomariyah⁵, Wahyu Utami⁶

^{1,2,3,4,5,6}Akuakultur, Universitas Tidar, Indonesia

Email: ¹latif.dwi1106@gmail.com.

²hemilinandanuvita3@gmail.com

³ivanprasetia239@gmail.com

⁴masrifa.habibullah354@gmail.com

⁵destyatya15@gmail.com

⁶tamiwahhh@gmail.com

*Penulis korespondensi

Riwayat artikel

diterima: 19-05-2021

direvisi: 04-06-2021

dsetujui: 25-06-2021

Kata kunci:

Akuakultur, *Clarias* sp, CRISPR, Enzim Cas9, Ikan lele transgenik

Abstrak

Ikan lele (*Clarias sp.*) memiliki kandungan protein hewani yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan tubuh manusia. Untuk mengembangkan ikan lele, baik itu dalam segi produktivitas, tampilan dan ukuran dibutuhkan teknologi yang tepat yaitu teknologi rekayasa genetika CRISPR Cas9. *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR) merupakan teknologi modern untuk mengedit genom dengan memanfaatkan perubahan fungsi enzim Cas9. Diharapkan teknologi CRISPR dapat lebih dikenal dan dikembangkan dalam rekayasa genetika. Metode yang digunakan pada penyusunan artikel ini adalah studi pustaka mengenai CRISPR Cas9 dalam mengembangkan Ikan Lele (*Clarias sp.*) yang dimanfaatkan dalam budidaya perairan (*Aquaculture*). Metode yang digunakan adalah studi literatur beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya dan menganalisis secara deskriptif. Teknologi CRISPR Cas9 dapat diterapkan pada Ikan Lele transgenik (*Clarias sp.*), hal tersebut didukung oleh keberhasilan dari penelitian yang terdahulu dimana diterapkan pada Kelompok Salmonidae (salmon Atlantik), Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), Ikan Zebra (*Danio reiro*) dan juga Catfish (*Ictalurus punctatus*). Prospek yang dapat dicapai dalam pembentukan ikan lele transgenik melalui teknologi CRISPR Cas 9 ini diantaranya mempercepat pertumbuhan dan perkembangan dan memperbesar otot rangka sehingga mampu meningkatkan bobot ikan lele.

Abstract

*Catfish (Clarias sp.) has a high enough animal protein content to meet the needs of the human body. To develop catfish, both in terms of productivity, appearance and size, the right technology is needed, namely the CRISPR Cas9 genetic engineering technology. Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) is a modern technology for editing the genome by exploiting changes in the function of the Cas9 enzyme. It is hoped that CRISPR technology can be better known and developed in genetic engineering. The method used in the preparation of this article is a literature study on CRISPR Cas9 in developing catfish (Clarias sp) which is used in aquaculture. The method used is a literature study of several previous studies and analyzed descriptively. CRISPR Cas9 technology can be applied to transgenic catfish (Clarias sp.), this is supported by the success of previous studies which were applied to the Salmonidae (Atlantic salmon), Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Zebra Fish (*Danio reiro*) and also Catfish (*Ictalurus punctatus*). Prospects that can be achieved in the formation of*

Keywords:

Aquaculture, Clarias sp, CRISPR, Cas9 Enzyme, GMO catfish

Link artikel:



transgenic catfish through CRISPR Cas 9 technology include accelerating growth and development and enlarging skeletal muscles so as to increase catfish weight.



© 2020 The authors

This is an open-access article under the CC-BY-NC-SA license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Pendahuluan

Ikan lele yang dikenal dengan nama ilmiah *Clarias* sp. memiliki kandungan protein hewani yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan tubuh manusia. Ikan lele (*Clarias* sp.) memiliki kandungan gizi berupa protein sebesar 17,7%, lemak 4,8%, mineral 1,2% dan air 76% (Ubadillah, dkk 2010). Sedangkan pada lele dumbo (*Clarias gariepinus*) memiliki kandungan protein sebesar 17,7–26,7% dengan kadar lemak 0,95–11,5% (Asriani *et.al.*, 2018). Ikan lele juga mengandung komponen seperti karoten, vitamin B1, fosfor, vitamin A, vitamin B12, kalsium, zat besi, vitamin B6 dan banyak mengandung asam amino. Komponen dalam ikan lele tersebut, dapat diserap dan dicerna secara mudah oleh anak – anak, orang dewasa hingga orang tua. Kandungan asam amino pada ikan lele berfungsi untuk membantu perkembangan dan pertumbuhan tulang, menjaga kalsium tetap terserap oleh tubuh serta menjaga kadar nitrogen yang ada di dalam tubuh (Asriani *et.al.*, 2018). Meskipun memiliki gizi yang cukup tinggi, ikan lele memiliki harga pasaran yang murah dan terjangkau. Hal ini menyebabkan banyak warung makan menyediakan berbagai jenis olahan ikan lele, seperti warung makan penyetan lamongan.

Namun demikian ikan lele yang disajikan memiliki ukuran yang bervariasi. Banyak cara sudah dilakukan untuk menambah ukuran ikan lele, diantaranya kawin silang dan pemilihan bibit unggul. Tetapi pada kenyataannya kawin silang pada ikan lele memiliki kekurangan. Pada penelitian (Restu & Peno, 2016) yang menyatakan bahwa penetasan telur dari perkawinan silang ikan lele lokal betina (*Clarias batracus*) dengan ikan keli jantan (*Clarias nieuhofii*) masih rendah, sehingga produksi ikan lele akan terganggu karena kurangnya bibit telur yang dikeluarkan hasil persilangan. Dari kasus tersebut, maka dibutuhkan teknologi yang tepat serta cepat dalam mengembangkan ikan lele, baik itu dalam segi produktivitas, tampilan dan juga ukuran. Salah satu teknologi yang tepat yaitu menggunakan teknologi rekayasa genetika.

Saat ini teknologi rekayasa genetik makhluk hidup telah digunakan dalam dunia perikanan khususnya dalam mengembangkan ikan transgenik (Darmawan, 2013). Namun dalam penerapan teknologi transgenik ini, ikan akan membawa satu atau lebih salinan dari rangkaian DNA rekombinan yang menyebabkan individu baru yang dihasilkan tidak semua memiliki gen atau DNA individu yang diinginkan. Dari kelemahan teknologi transgenik tersebut adapula kelebihan atau keunggulannya. Keunggulan teknologi transgenik adalah keberhasilan dalam mempersingkat waktu panen dengan mengurangi jumlah pakan yang digunakan serta tenaga kerja yang dibutuhkan. Selain itu juga dapat memacu pertumbuhan yang cepat bagi ikan. Salah satu teknologi transgenik yang saat ini dikembangkan dalam dunia perikanan yaitu CRISPR Cas9.

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats atau CRISPR merupakan teknologi canggih untuk mengedit genom dan regulasi gen. CRISPR ialah suatu teknologi yang digunakan untuk memanipulasi genom, dimana memanfaatkan perubahan fungsi enzim Cas yang semula sebagai pemotong DNA berubah menjadi pengikat DNA (Putri, R. R., 2019).

Beberapa tahun terakhir, teknologi CRISPR Cas9 sudah digunakan sebagai teknik modifikasi gen dengan beberapa model, diantaranya zigot pada hewan dan sel manusia. Namun, dalam dunia akuakultur penggunaan teknologi CRISPR Cas9 tergolong sedikit penerapannya. Salah satunya penelitian mengenai penggunaan sistem aktivasi CRISPR terhadap gen ikan zebra (*Danio reiro*). Dalam beberapa penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa penerapan system aktivasi CRISPR pada gen-gen ikan zebra berhasil. Hal ini terlihat dengan adanya peningkatan ekspresi level mRNA setelah sel ZF4 ditransfeksi dengan plasmid dCas9-VP64 dan sgRNA (Putri R. R., 2019). Aplikasi pengeditan genom CRISPR/Cas9 lain yang telah berhasil lainnya ialah salmon atlantik yang membahas tentang pigmentasi, kemandulan, dan metabolisme omega-3 dari ikan tersebut. Kemudian penelitian dari ikan nila tentang reproduksinya, serta beberapa jenis ikan mas seperti ikan mas biasa, ikan mas rohu, dan ikan mas rumput yang menjelaskan secara urut tentang perkembangan otot, kekebalan dan resistensi penyakit (Remi, et al., 2019).

Seperti uraian diatas dijelaskan bahwa sudah ada beberapa penelitian yang menerapkan teknologi transegenik CRISPR pada ikan zebra, ikan salmon, ikan nila, dan ikan mas. Namun, hingga sekarang belum ada penelitian mengenai penggunaan CRISPR Cas9 untuk mengembangkan ikan lele transgenik. Padahal Ikan lele memiliki protein yang lebih tinggi daripada daging hewan lainnya. Selain itu, ikan lele memiliki banyak kandungan leusin dan lisin yang berupa asam amino esensial. Kandungan tersebut diperlukan tubuh manusia untuk pertumbuhan dan berkembang. Ikan lele dapat tumbuh dengan cepat serta memiliki tingkat adaptasi terhadap lingkungan yang tinggi. Penulis ingin membahas ikan lele, karena ikan lele termasuk salah satu komoditas perikanan yang umum dikenal masyarakat. Bahkan permintaan ikan lele setiap tahunnya selalu meningkat, seperti halnya pada tahun 2010-2014 meningkat hingga 35% (Hariati, dkk 2017). Dengan memanfaatkan teknologi CRISPR Cas9 diharapkan dapat menjawab tantangan di masa yang akan datang tentang ketersediaan bibit ikan lele yang unggul dari segi ukuran ikan, bobot ikan, tingkat kematian yang rendah dan pertumbuhan.

Metode Penelitian

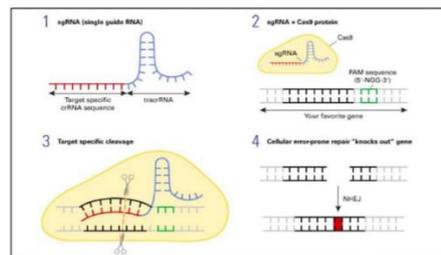
Metode yang digunakan pada penyusunan artikel ini adalah studi pustaka mengenai CRISPR Cas9 dalam mengembangkan Ikan Lele (*Clarias sp*) yang dimanfaatkan dalam budidaya perairan (*Aquaculture*). Penulis mengumpulkan studi literatur pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian penulis menganalisis secara deskriptif dan menyusun menjadi serangkaian artikel ilmiah.

Hasil dan Pembahasan

CRISPR Cas9

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats yang disingkat dengan CRISPR merupakan teknologi modern untuk mengedit genom dan regulasi genetik. CRISPR adalah suatu teknologi yang digunakan untuk memanipulasi genom dengan memanfaatkan perubahan fungsi enzim Cas9 yang semula berfungsi untuk memotong DNA berubah menjadi pengikat DNA. Penggunaan system CRISPR Cas9 dikembangkan guna mengamati aktivitas gen. Nucleated-dead Cas9 dalam sistem CRISPR Cas9 dimanfaatkan untuk mencegah fungsi Cas9 yaitu sebagai gunting DNA, sehingga system dapat diimplementasikan tanpa mengubah urutan genetic (Putri R., 2019).

Tujuan penargetan situs tertentu oleh CRISPR Cas9 dalam genom yang diarahkan ke DNA urutan oleh gRNA, cukup membutuhkan urutan pendek gRNA serta tidak melibatkan rekayasa ulang dari domain pengikat DNA protein. Sistem CRISPR Cas9 mengubah fungsi Cas9 menjadi enzim yang mengikat DNA target. Pengalihan fungsi ini dapat dilakukan dengan cara menonaktifkan aktivitas nucleuse nya. Dimana Kedua domain RuvC- dan HNH-nucleuse dinonaktifkan oleh katalitik titik endonuclease Cas9, sehingga menghasilkan Cas9 yang fungsi nucleuse nya tidak dapat merusak atau menggantung DNA target, dan urutan genetic tidak berubah (Putri R. R., 2019).



Gambar 1. Prinsip kerja dari CRISPR Cas9

(Source: http://www.clontech.com/xxclt_ibcGetAttachement.jsp?cltemid=100247)

Untuk pengeditan gen. 1) sgRNA yang terdiri dari sekuen crRNA yang spesifik menyasar DNA target dan tracrRNA yang berinteraksi dengan Cas9 perotein. 2) Terbentuk ikatan komplek antara sgRNA dengan protein Cas9 yang mengandung aktifitas DNA endonuclease. 3) Ikatan komplek tersebut akan menyebabkan ds DNA target terputus. 4) situs yang terputus tersebut akan diperbaiki lewat jalur perbaikan DNA non-homologous end joining (NHEJ), proses ini bisa menyebabkan insersi atau penghapusan dari nuleotida yang menyebabkan rusaknya fungsi gen. Diambil dari

CRISPR Cas9 penerapannya diawali dengan memilih plasmid yang akan digunakan. Kemudian plasmid akan dibagi menjadi potongan-potongan kecil sehingga terintegrasikan dalam lokus CRISPR. Lokus-lokus tertentu ditranskripsikan dan hasil transkrip diproses menghasilkan crRNA. CRNA ini mengarahkan efektok endonuclease untuk menargetkan DNA alien, tergantung pada urutan yang saling melengkapi. Cas9 menghasilkan DSB (*double-stranded breaks*) di dalam situs target, disisi lain Cas9 memfasilitasi mekanisme perbaikan DNA endogen yang megarah ke DNA yang diedit (Noman & Aqeel, 2016).

Perkembangan CRISPR Cas9 di Akuakultur

Dalam memanipulasi genom dengan cara mengikat DNA target secara independen, teknologi CRISPR dinilai sangat fleksibel untuk digunakan. Hal itu disebabkan oleh CRISPR memiliki enzim Cas yang mampu mengikat DNA dan memotong DNA target (Putri, 2019). Dalam dunia akuakultur sendiri, teknologi CRISPR masih mengalami percobaan-percobaan sebelum nantinya sedikit demi sedikit akan diterapkan demi mendapat spesies-spesies unggul baik dalam ikan hias maupun konsumsi. Pengeditan genom menggunakan CRISPR / Cas9 mulai berhasil diterapkan baru-baru ini secara in vivo atau dalam garis sel beberapa spesies akuakultur. Seperti contohnya pada kelompok Salmonidae (salmon Atlantik, Salmon salar dan ikan trout pelangi), Ikan nila (*Oreochromis niloticus*), dan ikan mas (*Cyprinus carpio*).

Protokol CRISPR/Cas9 dikembangkan dalam organisme model, seperti ikan zebra dan sering menargetkan gen dengan fenotipe yang dapat diamati dengan jelas untuk menguji keberhasilan pengeditan (misalnya, pigmentasi). Metodologi standar yang terdapat pada Akuakultur adalah *in vivo* mutasi dimana spesies akuakultur akan menjalani penyuntikan kompleks CRISPR/Cas9 ke dalam telur yang baru dibuahi sedekat mungkin dengan tahap perkembangan satu sel. Biasanya mRNA yang mengkode protein Cas9 disuntikkan bersamaan dengan RNA. Penggunaan protein Cas9 sebagai pengganti mRNA juga dinilai efektif. Namun, terdapat penelitian yang telah menggunakan metode penggabungan akhir nonhomolog (NHEJ) untuk menginduksi mutasi, perbaikan yang telah diarahkan pada homolog (HDR) ini telah berhasil digunakan untuk memasukkan DNA pada cetakan ikan mas rohu. Selain itu, transmisi gemline yang telah berhasil dari hasil edit telah dilaporkan dalam beberapa penelitian hingga saat ini.

Menciptakan hewan steril untuk budidaya sangat diinginkan untuk mencegah introgresi dengan stok di alam liar dan untuk menghindari konsekuensi produksi negatif dari pematangan dini. Dalam konteks ini, CRISPR / Cas9 telah digunakan untuk menginduksi kemandulan pada Salmon Atlantik dan Cat Fish (sebangsa lele). Untuk sifat yang terkait dengan pertumbuhan, beberapa kelompok telah mengedit gen myostatin (terkenal karena perannya dalam ' sapi berotot ganda ', seperti Belgian Blue), untuk menghasilkan ukuran ikan yang lebih besar. Sampai saat ini, ini telah dilakukan di Cat Fish dan ikan mas.

Beberapa alasan praktis mengapa pengeditan genom memiliki potensi untuk penelitian dan aplikasi pada spesies akuakultur adalah kemudahan akses ke ribuan embrio yang dibuahi secara eksternal, dan ukuran besar embrio yang memfasilitasi injeksi mikro dengan tangan. Kemampuan untuk menggunakan Famili inti yang lebih besar memungkinkan suatu tingkat pengendalian efek genetik asal. Dengan ukuran sampel yang sesuai, dapat dicapai perbandingan individu yang berhasil diedit dengan rekan saudara kandung asli mereka yang belum diedit. Kemampuan turunan yang lain juga layak menjadi pertimbangan. Misalnya menggunakan model tantangan penyakit yang dikembangkan dengan baik untuk menilai resistansi terhadap banyak patogen virus dan bakteri selama tahap awal kehidupan. Akhirnya, jika alel yang menguntungkan untuk sifat target (misalnya, resistensi penyakit) dibuat atau ditemukan, maka ada potensi penyebaran luas plasma nutfah yang ditingkatkan untuk dampak cepat melalui program pemuliaan selektif.

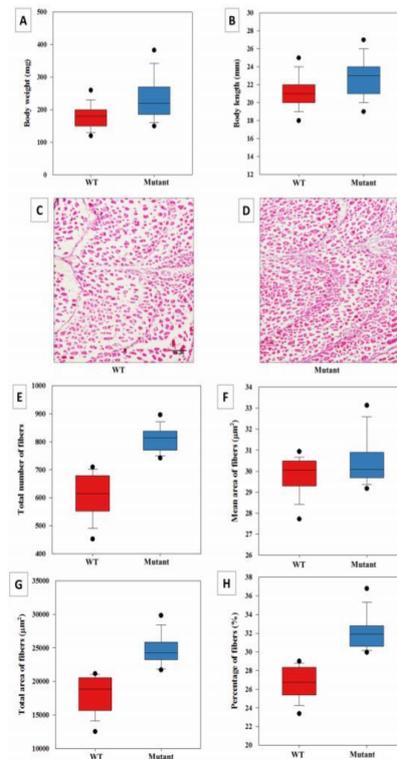
Akan tetapi, bukannya tidak ada risiko dalam penerapan teknologi CRISPR Cas9 ini. Mosaikisme biasa terjadi pada hewan yang diedit, menyiratkan bahwa pemotongan dan pengeditan yang disebabkan oleh Cas9 berlanjut melewati tahap satu sel. Ini adalah masalah yang harus ditangani dengan penelitian di masa depan. Sasaran produksi untuk studi pengeditan genom pada spesies akuakultur sampai saat ini termasuk kemandulan, pertumbuhan, dan ketahanan penyakit.

Pemanfaatan CRISPR Cas9 dalam Mengembangkan Ikan Lele (*Clarias sp.*)

Pengeditan gen dari gen myostatin (MSTN) catfish telah berhasil dilakukan. Pada penelitian (Khalil, et al., 2017), menggunakan CRISPR Cas9 untuk mendesain segmen RNA dan memilih segmen RNA yang terbaik untuk menargetkan gen myostatin (MSTN). CRISPR Cas9 pada awalnya dirancang berdasarkan genom ikan zebra. Karena adanya hubungan dekat secara

filogenetik antara catfish (*Ictalurus punctatus*) dan ikan zebra, maka memiliki kemungkinan keberhasilan yang sama penargetan sgRNA. Hubungan erat juga terjadi pada (*Ictalurus punctatus*) dan ikan lele. Yang mana keduanya memiliki tingkat kekerabatan yang begitu dekat.

Berikut merupakan hasil pengeditan gen myostatin (MSTN) pada catfish



Gambar 2. Evaluasi pertumbuhan myostatin (MSTN)

Mutasi saluran benih catfish berumur satu bulan. Berat tubuh (A) dan panjang tubuh (B) mutan (biru) dan tipe liar (merah) (n = 330). (C, D) Gambar representativ dari luas penampang ventral otot epaksial tipe liar (WT) (C) dan mutan (individu dengan mutasi frame-shif dari kelompok MSTN-Mix) (D), ditunjukkan dengan pewarnaan Hematoxylin dan Eosin (H&E). Skala batang dalam (C, D): 25 µm. Jumlah otot jari (E), rata-rata luas jari otot (F) dan luas total dari fibers (G) mutan (biru) dan jenis liar (merah), gambar pewarnaan H&E terukur (lihat gambar C&D). Sekitar 32 gambar yang diwarnai untuk setiap perawatan dihitung. Persentase distribusi fibers (H) dihitung sebagai total luas serat per luas penampang dikalikan dengan 100. Signansi statistik ditetapkan pada $p < 0,05$, dan semua data disajikan sebagai mean \pm standard error (SEM).

Semua segmen RNA yang dirancang bekerja secara efektif di situs target pada gen myostatin (MSTN) dengan efisiensi mutagenesis yang tinggi. Meskipun sistem CRISPR / Cas9 (Cas9 plasmid) sebelumnya telah disuntikkan dengan mikro pada catfish dengan tingkat mutasi 100 %, tingkat penetasan embrio dan kelangsungan hidup benih awal masing-masing hanya 10% dan 45%. Dalam penelitian (Khalil, et al., 2017), tingkat ini dinaikkan menjadi sekitar 42% untuk penetasan dan 90% untuk kelangsungan hidup burayak awal dengan tingkat mutasi yang tinggi (88-100%). Tingkat mutasi keseluruhan hasil penelitian ini lebih tinggi daripada yang diperoleh pada salmon Atlantik, ikan mas, dan ikan nila.

Hasil perlakuan yang berbeda pada penelitian (Khalil, et al., 2017) juga mendapat hasil bahwa tidak menemukan kelainan sebelum atau sesudah menetas pada embrio yang disuntikkan CRISPR. Kematian embrio yang lebih tinggi pada kelompok yang disuntik dibandingkan dengan kelompok nonkontrol mungkin disebabkan oleh prosedur injeksi mikro. Oligonukleotida paling aktif bila disuntikkan langsung ke dalam sel embrio daripada kuning telur (Khalil, et al., 2017). Penjelasan ini terbukti cukup untuk mengedit genom, membutuhkan lebih sedikit waktu dan tenaga. Selama mikroinjeksi dengan gangguan yang lebih sedikit pada embrio, menyebabkan mutasi dan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi, tingkat penetasan embrio dan kelangsungan hidup benih awal lebih tinggi daripada menggunakan injeksi mikro blastodisk atau elektroporasi. Selain itu, protein Cas9 sebagai ganti plasmid menghilangkan waktu yang dibutuhkan untuk ekspresi Cas9 plasmid, membuat target genom selama tahap satu sel.

CRISPR / Cas9 sangat efektif jika diterapkan pada ikan lele karena persentase besar embrio bermutasi di dalam target sepanjang kerangka pembacaan terbuka dan tidak ada mutasi yang terdeteksi di dekat dan di luar target. Genom tidak diperiksa untuk mutasi di luar target. Sebagian besar mutasi mengarah pada pergeseran kerangka yang menghasilkan kodon stop prematur, penghentian translasi lebih awal, dan mengganggu fungsi molekuler protein (Khalil, et al., 2017). Penghapusan besar gen *MSTN* pada ekson I akibat injeksi tiga segmen RNA dalam kombinasi atau *MSTN-Mix* (Khalil, et al., 2017). Sistem CRISPR / Cas9 juga dapat digunakan untuk mencapai penghapusan genom yang besar, tidak hanya dalam satu gen, tetapi juga di lokus kromosom yang berbeda dengan mengirimkan dua pasang atau lebih segmen RNA bersama-sama, dengan Cas9 nuklease menargetkan situs genom yang berbeda secara bersamaan. Dengan penjelasan yang cukup kuat oleh para peneliti, dan kekerabatan yang dekat dengan catfish, maka pengaplikasian CRISPR pada ikan lele ditargetkan dapat berhasil.

Prospek Penerapan Teknologi CRISPR Cas9 pada Ikan Lele (*Clarias sp.*)

Dari hasil penelitian yang menunjukkan bahwa CRISPR Cas9 dapat digunakan untuk mengedit gen myostatin (*MTSN*) dari Catfish (*Ictalurus punctatus*) yang mana menghasilkan pertumbuhan dan meningkatkan produktivitasnya (Khalil et.al., 2017). Gen myostatin (*MTSN*) sangat penting perannya dalam menumbuhkan otot rangka secara keseluruhan dari vertebrata. Hasil penelitian tersebut menunjukkan CRISPR Cas9 mampu mengedit saluran Catfish dan dapat menyisipkan gen yang fungsional. Sehingga, gen yang diedit oleh CRISPR Cas9 tersebut memiliki lebih banyak sel otot ($p < 0,0001$) dan rata - rata berat badan benih pada Catfish (*Ictalurus punctatus*) yang diedit gennya meningkat sebesar 29,7%. Jadi, dapat dikatakan bahwa ikan dapat direkayasa genetiknya melalui teknologi transgenik berupa CRISPR Cas9. Sehingga, ikan lele (*Clarias sp.*) yang merupakan kerabat dari Catfish (*Ictalurus punctatus*) dengan ordo yang sama yaitu "Siluriformes" dapat direkayasa genetiknya untuk pertumbuhan menggunakan CRISPR Cas9.

Prospek yang bagus dari CRISPR Cas9 terhadap pertumbuhan ikan lele (*Clarias sp.*) sanggupkah para pembudidaya menerapkannya, karena dalam mengedit suatu gen dari makhluk hidup dibutuhkan suatu alat yang canggih, modern dan membutuhkan banyak uang. Karena prinsip wirausaha adalah menghasilkan produk yang berkualitas dengan menekan biaya sekecil mungkin. Untuk para pembudidaya skala besar seperti perusahaan mungkin tidak keberatan tetapi lain halnya untuk pembudidaya lele skala kecil maka dimungkinkan akan keberatan melakukan hal tersebut. Dari kami menawarkan solusi yaitu para pembudidaya skala kecil membeli bibit lele hasil pengeditan gen oleh CRISPR Cas9 dari suatu perusahaan kemudian

mereka akan membudidayakan bibit tersebut menjadi ikan konsumsi dan dapat diedarkan ke masyarakat luas terutama untuk warung makan yang menyediakan berbagai jenis olahan ikan lele, seperti warung makan penyetan lamongan.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan

Teknologi CRISPR Cas9 dapat diterapkan pada ikan lele transgenik (*Clarias* sp.), mengingat keberhasilan dari penelitian terdahulu dimana diterapkan pada kelompok Salmonidae (Salmon Atlantik), ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan zebra (*Danio reiro*) dan Catfish (*Ictalurus punctatus*). Pada Catfish (*Ictalurus punctatus*), CRISPR Cas9 mampu mengedit gen myostatin (MTSN) pada sel ototnya, sehingga menghasilkan pertumbuhan dan meningkatkan produktivitasnya. Prospek yang dapat dicapai dalam menghasilkan ikan lele transgenik yaitu melalui teknologi CRISPR Cas9 yang dapat mempercepat pertumbuhan dan perkembangbiakkan, serta memperbesar otot rangka sehingga mampu meningkatkan bobot ikan lele tersebut.

Saran

Dengan adanya penelitian ini diharapkan agar kedepannya dapat dikembangkan kembali terkait dengan teknologi CRISPR-CAS9 dalam jenis ikan lainnya.

Daftar Pustaka

- Asriani, Joko Santoso dan Listyarini. (2018). Nilai Gizi Konsentrat Protein Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) Ukuran Jumbo. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan*, 1(2), 77 – 86.
- Buwono, I. D., Agung, M. U. K., & Subhan, U. (2016). Perakitan Ikan Lele (*Clarias* sp.) transgenik dengan teknik elektroporasi sperma. *Jurnal Biologi Udayana*, 20(1).
- Buwono, I. D., Lathifah, A. U., & Subhan, U. (2018). Deteksi Keragaman Genotip Hibrid Ikan Lele Sangkuriang, Mutiara Transgenik dan Non Transgenik Pada Keturunan Pertama. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(1).
- Darmawan, B.D. (2013). Evaluasi Resiko Aplikasi Ikan Transgenik Dalam Kegiatan Budidaya. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 7(1), 15-19.
- Hariati M., Jubaedah D., dan Syaifudin. (2017). kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Benih Ikan Lele (*Clarias* sp.) pada Salinitas Media yang Berbeda. *Jurnal Rawa Akuakultur Indonesia*, 5(1).
- Khalil, Karim et.al. (2017). Generation of Myostatin Gene – Edited Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) via Zygote Injection of CRISPR/Cas9 System. *Journal Scientific Reports*, 7, 7301.
- Noman A., Aqeel M. He, S. (2016). CRISPR-Cas9; Tool for Qualitativ and Quantitative Plant Genome Editing. *Frontiers in Plant Science*.

Putri R. R. (2019). Penerapan Sistem Aktivasi CRISPR (CRISPRa) Pada Gen-Gen Ikan Zebra (*Danio rerio*). *Jurnal Mina Sains*, 5(2), 93-99. ISSN:207-9030.

Remi L. Gratacap, Anna Wargelius, Rolf Brudvik Edvarsen, and Ross D. Houston. (2019). Potential of Genome Editing to Improve Aquaculture Breeding and Production. *Journal Trend in Genetics*, 35(9), 672 – 684. ISSN 0168-9525,
<https://doi.org/10.1016/j.tig.2019.06.066>.

Restu dan Peno Nataleo. (2016). Perkawinan Silang Antara Keli Jantan (*Clarias nieuhofii*) dan Lele Lokal Betina (*Clarias batracus*) dengan perbandingan Bobot Induk yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*, 5(2), 101 – 104. ISSN: 2301-7783.

Ubadillah, Anas dan Hersoelistyorini Wikanastri. (2010). Kadar Protein dan Sifat Organoleptik Nugget Rajungan dengan Substitusi Ikan Lele (*Clarias gariepinus*). *Jurnal Pangan dan Gizi*, 1(2), 45 – 54.