

**PERANAN DAN TANTANGAN BIOLOGI MOLEKULER
DALAM BIDANG PERIKANAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Perikanan
pada Fakultas Pertanian
Universitas Gadjah Mada

oleh:

Prof. Dr. Ir. Murwantoko, M.Si.

Bismillahirrahmaanirrahiem.

Yang saya hormati,

Ketua, Sekretaris, dan para Anggota Majelis Wali Amanat,
Rektor, Para Wakil Rektor,
Ketua, Sekretaris, dan para Anggota Senat Akademik,
Ketua, Sekretaris, dan para Anggota Majelis Guru Besar,
Para Dekan dan Wakil Dekan di lingkungan Universitas Gadjah Mada
Para dosen, mahasiswa, tenaga kependidikan, serta para tamu undangan yang saya hormati.

Assalamualaikum wr. wb.

Pertama-tama, marilah kita panjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan kepada kita sehingga dapat hadir dalam acara yang terhormat ini. Selanjutnya, perkenalkan saya untuk menyampaikan pidato dalam rangka pengukuhan Guru Besar Ilmu Perikanan pada Fakultas Pertanian UGM di hadapan para hadirin yang terhormat.

Pidato ini saya beri judul: **Peranan dan Tantangan Biologi Molekuler dalam Bidang Perikanan**

Indonesia mempunyai posisi geografis yang strategis, sebagai negara kepulauan dengan jumlah pulau kurang dari 17.504 pulau dengan pulau sudah dibakukan dan didaftarkan ke Perserikatan Bangsa-Bangsa sebanyak 16.671 pulau dan berada di antara dua benua, yaitu Asia dan Australia. Wilayah perairan laut Indonesia mencapai 6,4 juta km² yang terdiri atas luas laut teritorial seluas 0,29 juta km², perairan pedalaman dan perairan kepulauan seluas 3,11 juta km², dan perairan Zona Ekonomi Eksklusif seluas 3,00 juta km². Selain itu Indonesia memiliki luas Zona Tambahan perairan 0,27 km², luas landas kontinen 2,8 juta km², dan garis pantai sepanjang 108.000 km (KKP, 2020). Indonesia merupakan salah negara yang berada di kawasan segitiga terumbu karang (*coral triangle*) mempunyai karakteristik penting antara memiliki keanekaragaman spesies karang dan ikan karang terkaya di dunia.

Wilayah pesisir dan laut memiliki beragam ekosistem yang sangat subur dan kaya sumber daya seperti sumber daya ikan, ekosistem wetlands, mangrove, terumbu karang, dan padang lamun. Potensi sumber daya tersebut dapat digunakan sebagai modal dasar untuk pembangunan perekonomian bangsa berbasis sumber daya alam, khususnya perikanan dan kelautan. Menurut Dahuri (2020), Indonesia mempunyai 11 sektor ekonomi kelautan yaitu (1) perikanan tangkap, (2) perikanan budidaya, (3)

industri pengolahan hasil perikanan, (4) industri bioteknologi kelautan, (5) pertambangan dan energi (ESDM), (6) pariwisata bahari, (7) hutan bakau, (8) perhubungan laut, (9) sumber daya wilayah pulau-pulau kecil, (10) industri dan jasa maritim, dan (11) SDA non-konvensional. Total potensi nilai ekonomi kesebelas sektor kelautan Indonesia itu diperkirakan sebesar 1,33 triliun dolar AS/tahun.

Eksplorasi dan pemanfaatan sumber daya secara optimal dan lestari ini perlu dasar dan dukungan keilmuan yang kuat. Salah satu jenis sumber daya kelautan adalah sumber daya hayati akuatik yang terdiri atas: tumbuhan, hewan, dan mikrobia yang dipelajari dalam ilmu biologi. Oleh karenanya, penguasaan dan pengembangan cabang-cabang ilmu biologi dasar maupun terapan akan sangat berguna bagi pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya perairan Indonesia khususnya dan dunia secara berkelanjutan.

Biologi molekuler adalah cabang biologi yang berupaya memahami dasar molekuler dari aktivitas biologis di dalam dan di antara sel, termasuk sintesis, modifikasi, mekanisme, dan interaksi biomolekuler. Biologi molekuler tidak hanya mempelajari molekul biologis dan interaksinya. Berbagai metode digunakan untuk mempelajari dasar molekuler dari aktivitas biologis, antara lain *Polymerase Chain Reaction* (PCR), kloning DNA, ekspresi gen, pengurutan DNA (*DNA sequencing*), sintesis DNA, *blotting*, dan *probing* makromolekul. Metode-metode ini juga dikaji dan dipelajari sebagai bagian bioteknologi. Bidang ini telah berkontribusi dan diperkirakan akan lebih besar ke depannya untuk pengembangan ilmu dan teknologi di bidang perikanan.

Penulis berkesempatan mempelajari biologi molekuler ketika menempuh studi Magister Bioteknologi di bawah Sekolah Pascasarjana UGM yang penyelenggaraannya dilakukan oleh PAU Bioteknologi UGM (waktu itu) yang sekarang bernama Pusat Studi Bioteknologi UGM. Pada studi ini penulis menyusun tesis Isolasi dan Karakterisasi Partial Biomolekul Beberapa Virus Penyakit Udang. Kemudian penulis melanjutkan studi di *Department Molecular Biology, Graduate School of Biological Science, Nara Institute of Science and Technology*, Jepang. Pada jenjang ini penulis mempelajari dan menggunakan berbagai macam teknologi molekuler dan menyusun disertasi dengan judul *Analysis of HtrA genes in Animals: Identification of HtrA from Fruit flies and Zebrafish, Immunological Properties of Mammalian HtrA1 and HtrA3, and Roles of PDZ domain on Protease Activity of HtrA1*. Selanjutnya penulis menggunakan berbagai metode biologi molekuler untuk diaplikasikan dalam bidang perikanan. Kegiatan-kegiatan lokakarya di Centex, the *University of Sydney* juga membantu dalam penguasaan metode biologi molekuler. Berbagai kerja sama dan program luar negeri juga turut memantapkan penguasaan bioteknologi.

Oleh karena itu, dalam pidato ini izinkan saya untuk menyampaikan pidato dengan judul: Peranan dan Tantangan Biologi Molekuler dalam Bidang Perikanan.

Peranan biologi molekuler di bidang perikanan meliputi pendalaman pada ilmu dasar di perikanan, pemanfaatan biologi molekuler pada manajemen sumber daya ikan, dan pemanfaatan biologi molekuler pada akuakultur. Adapun tantangan biologi molekuler disampaikan terkait pengembangan teknik biologi molekuler ke depan, dan tantangan kelembagaannya.

PERANAN BIOLOGI MOLEKULER DALAM BIDANG PERIKANAN

Pendalaman pada ilmu dasar di perikanan

Bernagai ilmu dasar dipelajari di program studi yang terkait dengan perikanan, seperti iktiologi, genetika, fisiologi. Biologi molekuler telah dimanfaatkan untuk memperdalam kajian ilmu-ilmu dasar tersebut antara lain: identifikasi organisme secara molekuler, analisis gen pada ikan, fisiologi molekuler.

Identifikasi ikan secara molekuler

Ikan *red devil* memiliki sifat agresif dan dapat memangsa spesies endemik di suatu daerah dan membahayakan ekosistem di perairan umum. *Red devil* ini mempunyai variasi yang sangat tinggi baik dalam satu spesies yang sama maupun antarspesies, termasuk di dalamnya fenomena polikromatisme dan trofopolimorfisme (Kratochwil et al., 2015). Habibie (2018) melakukan pengamatan ikan *red devil* di Waduk Sermo secara polikromatik dan dimorfisme seksual, serta mengkonfirmasi spesies secara molekuler dengan target mitokondria DNA *Control Region* (mtDNA CR). Hasil analisis molekuler teridentifikasi sebagai *A. amarillo*, meskipun secara morfologi, agak berbeda dengan yang dideskripsikan sebelumnya.

Ikan layur merupakan salah satu ikan ekonomis tinggi dalam jenis yang cukup beragam. Ikan layur yang ditemukan di perairan Indonesia ada tujuh jenis, yaitu *Benthodesmus tenuis*, *B. tuckeri*, *Eupleurogrammus glossodon*, *E. muticus*, *Lepturacanthus savala*, *Trichiurus auriga*, dan *T. lepturus* (Nakamura dan Parin, 1993). Selanjutnya Burhanuddin et al. (2002) menetapkan dua spesies ikan layur, yaitu *T. brevis* dan *T. russelli* sebagai “*valid species*” sebagai anggota genus *Trichiurus*. Identifikasi spesies ikan pada genus *Trichiurus* secara morfologi sangat rancu karena bentuk tubuh dan warna hampir sama pada setiap spesies, sehingga pendekatan molekuler diperlukan untuk mendukung proses identifikasi secara morfologi. Firawati et al. (2017) melakukan identifikasi spesies layur di Jawa Timur dengan gen target 16S rRNA, dan berhasil teridentifikasi sebagai *Trichiurus lepturus* dan *T. brevis*.

Gurami (*Osphronemus goramy*) merupakan salah satu ikan ekonomis penting yang telah banyak dibudidayakan di berbagai pulau di Indonesia karena mempunyai banyak kelebihan (Hardaningsih et al., 2012). Berdasarkan karakter fenotipnya dapat

diketahui beberapa subspecies gurami, yaitu: bule, blue safir, paris, bastar, batu, jali (Soewardi et al., 1995, Hardaningsih, 2001). Murwantoko dan Hardaningsih (2008) telah mengkaji keragaman genetik beberapa subspecies gurami dengan pendekatan biologi molekuler berupa sekuen 5S rDNA. Hasil analisis menunjukkan ada variasi genetik dan menemukan perbedaan sebanyak 12 nukleotida dari ikan gurami yang diamati. Gurami di wilayah Yogyakarta mempunyai keragaman genetik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gurami dari wilayah Banyumas dan terdapat 3 jenis gurami di wilayah Yogyakarta yang tidak ditemukan di wilayah Banyumas.

Analisis gen ikan

Reproduksi ikan merupakan bahan kajian penting terkait dengan biologi reproduksi pada pengelolaan sumber daya ikan maupun untuk pembenihan di akuakultur. Berbagai faktor yang ada di lingkungan berpengaruh terhadap aktivitas reproduksi ikan (Bromage et al., 2001). *Gonadotropin-releasing hormone* (GnRH) merupakan hormon yang dihasilkan oleh bagian dari hipotalamus otak yang berperan dalam *signaling* untuk mengatur reproduksi pada semua vertebrata. Prayoga et al. (2011) telah mengarakterisasi dua genomik DNA GnRH dan cDNA dari ikan nilam (*Osteochilus hasselti* C.V) yaitu GnRH-II dan GnRH-III. Panjang DNA genom GnRH-II adalah 632 bp dan cDNA GnRH-II adalah 253 bp, panjang DNA genom GnRH-III adalah 486 bp dan cDNA GnRH-III adalah 285 bp. cDNA prekursor GnRH-II yang dikodekan terdiri dari 84 asam amino dan cDNA prekursor GnRH-III yang dikodekan terdiri dari 95 asam amino, termasuk peptida sinyal, dekapeptida GnRH-II dan peptida terkait GnRH (GAP) yang dihubungkan tapak proteolitik Gly-Lys-Arg (Prayogo et al., 2011). Perlakuan pemberian foto periode dan lama pemeliharaan setelah memijah berpengaruh terhadap ekspresi GnRH pada ikan nilam (Prayogo et al., 2012).

HtrA adalah keluarga protease serin yang sangat terkonservasi, yang berperan dalam respon terhadap cekaman, khususnya suhu tinggi. Informasi keberadaan dan fungsi HtrA ini pada ikan belum banyak dikaji. Murwantoko et al. (2005) mendapatkan HtrA Zebrafish (zHtrA1) mengandung 1.330 nukleotida (nt) ORF yang jelas, dengan kodon awal ATG pada nt 139-141 dan kodon stop TGA pada nt 1.467- 1.469; di luar ORF adalah 5' UTR 138 nt. Ujung N-terminal protein yang identik mengandung peptida sinyal (aa 1-22) diikuti dengan empat domain lainnya (i) domain pengikat faktor pertumbuhan seperti insulin (IGF) (aa 27-91), (ii) domain penghambat protease serin tipe Kazal (aa 109-151), (iii) domain protease tripsin (aa 167-360), dan (iv) domain PDZ (aa 379-476). *Whole mount in situ hybridization* menunjukkan zHtrA1 diekspresikan di dasar tulang belakang di daerah ekor.

Kajian fisiologi molekuler

Stres adalah perubahan reaksi tubuh ketika menghadapi ancaman, tekanan, atau situasi yang baru. Kondisi stres akan menurunkan status kesehatan ikan, mengganggu pertumbuhan, dan kemampuan reproduksi. *Heat Shock Protein* (HSP) merupakan salah satu gen yang bertanggungjawab terhadap stres pada invertebrata dan akan terekspresi apabila diinduksi oleh stressor. Protein HSP ini berfungsi sebagai pertahanan seluler, mencegah denaturasi protein, dan membantu penghilangan protein terdenaturasi akibat tekanan biotik dan abiotik (Wang et al., 2004). Pada organisme akuatik, ekspresi gen HSP meningkat sebagai respons terhadap beberapa cekaman, seperti panas (Park et al., 2015), dan infeksi *Vibrio* (Rungrassamee et al., 2010). Kajian biologi molekuler untuk ekspresi gen dapat digunakan untuk memahami proses fisiologis pada komoditas perikanan penting.

Kajian HSP pada abalone (*Haliotis squamata*) menggunakan *quantitative (Real Time)*-PCR, menunjukkan bahwa infeksi *V. alginolyticus* akan direspon oleh *H. squamata* dengan peningkatan ekspresi HSP70 dan HSP90 yang cepat, kemudian diikuti dengan penurunan aras ekspresi HSP70 dan HSP90. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan histologis pada jaringan dan menyebabkan kematian (Yasa et al., 2020). Produksi HSP pada abalon juga dipengaruhi oleh suhu air. Produksi protein *heat shock* 70 dan 90 juga meningkat secara signifikan pada *H. squamata* yang diberi perlakuan gradien suhu (lebih dari 30°C) selama 6-12 jam (Yasa et al., 2019). Ekspresi HSP pada udang vaname *Litopenaeus vanname* juga dipengaruhi oleh lingkungan. Yasa et al. (2019b) mendapatkan ekspresi LvHSP60, LvHSP70, dan LvHSP90 meningkat secara signifikan pada perlakuan 6 jam dan cenderung kembali ke kondisi normal setelah perlakuan 48 jam.

Pemanfaatan biologi molekuler pada manajemen sumber daya ikan

Suatu pengelolaan perikanan membutuhkan informasi yang akurat, baik informasi biologi, ekonomi, legal, teknologi, sosial, dan politik. Salah satu informasi yang dibutuhkan adalah informasi biologi yang mencakup identifikasi spesies, reproduksi, maupun kajian stok ikan. Pengkajian stok memberikan informasi penting yang diperlukan untuk konservasi dan pengelolaan stok ikan. Penentuan struktur stok ikan dapat didekati dengan menggunakan parasit sebagai indikator biologis. Parasit dapat memberikan indikasi tentang biologi inang, dinamika populasi intraspesifik, dan asal individu dan dapat digunakan diskriminasi stok. Variabilitas genetik dan struktur spasial populasi parasit juga dapat mencerminkan struktur populasi inangnya. Penentuan variabilitas genetik parasit perlu pendekatan biologi molekuler. Analisis komunitas dan genetika populasi nematoda anisakid dapat dilakukan dengan penanda sitokrom mitokondria (Klapper et al., 2016).

Keberadaan nematoda anisakids pada ikan di Indonesia telah diidentifikasi dengan metode PCR RFLP, sekuensing ITS rRNA, dan cytochrom oksidase-1. Dari

ikan layur di Perairan Pangandaran telah teridentifikasi *Anisakis typica* (Ayun et al., 2021), dari ikan kembung di Perairan Selatan Jawa teridentifikasi *Anisakis typica* (Setyobudi et al., 2019), dari ikan layur di Perairan Demak telah teridentifikasi *Hysterothylacium amoyense* (Utami et al., 2022), sedangkan dari ikan gulamah dari Perairan Yogyakarta teridentifikasi *Anisakis typica* var. *Indonesiensis* (Ayun et al 2022).

Pemanfaatan biologi molekuler pada akuakultur

Akuakultur merupakan kontributor utama pangan dunia dengan pertumbuhan produksi paling cepat dibandingkan sektor pangan lainnya. Sejak tahun 2010, produksi ikan Indonesia yang berasal dari perikanan budidaya telah melebihi produksi yang berasal dari perikanan tangkap. Publikasi FAO the State of Fisheries and Aquaculture (2022) menyebutkan bahwa Indonesia adalah produsen akuakultur (ikan, krustacea, moluska) terbesar ketiga di dunia dengan produksi 6,22 juta ton, di bawah Tiongkok dan India dengan produksi masing-masing sebesar 49,62 dan 8,64 juta ton. Meskipun pertumbuhan dan produksi akuakultur Indonesia terbilang tinggi, namun penelitian yang berfokus pada ekologi mikroba dalam sistem akuakultur masih sedikit. Kemajuan besar dalam ekologi mikroba pada bidang oseanografi dan limnologi memungkinkan prediksi yang lebih akurat tentang peran bakteri dan mikroorganisme lainnya dalam rantai makanan dan siklus biogeokimia. Perkembangan ini memiliki implikasi penting dalam meningkatkan manajemen akuakultur untuk mengoptimalkan produktivitas dan penghasilan pembudidaya (Moriarty, 1997).

Akuakultur intensif menghadapi beberapa masalah seperti wabah penyakit dan konsekuensi infeksi patogen ke inang baru atau lokasi baru dari aktivitas pengangkutan ikan hidup (Guo dan Woo, 2009). Kemunculan penyakit baru menjadi tantangan kekinian yang besar mengingat adanya perubahan iklim global, adanya perubahan sifat dan adaptasi dari patogen, usaha akuakultur yang mengarah pada budidaya super intensif dengan pemberian input yang sangat tinggi, dan juga kemudahan transportasi ikan dan sarana akuakultur lainnya baik skala domestik maupun internasional (Marcos-Lopes et al., 2010). Penyakit ini berkembang lebih cepat di daerah tropis dan mengakibatkan angka kematian kumulatif yang lebih tinggi (Leung dan Bates, 2013). Patogen utama yang mempengaruhi akuakultur meliputi: bakteri, jamur, virus, dan parasit (Bondad-Reantaso et al., 2005).

Disiplin biologi molekuler telah dimanfaatkan untuk pengembangan akuakultur. Pada bagian di bawah saya akan menyajikan aplikasi biologi molekuler untuk kajian mikrobioma lingkungan akuakultur, kajian molekuler penyakit parasit, kajian penyakit virus, pengembangan deteksi penyakit, dan pengembangan vaksin virus.

Mikrobioma lingkungan akuakultur

Lingkungan sangat berperan terhadap keberhasilan akuakultur. Salah satu komponen dalam lingkungan perairan adalah mikroorganisme. Mikroorganisme terdapat secara alami maupun dengan rekayasa penambahan serta memiliki peran penting dalam akuakultur. Mikroorganisme mampu mendaur ulang nutrisi dan mendegradasi bahan organik, terdapat juga yang dapat menginfeksi, meskipun ada juga beberapa mikroorganisme yang melindungi ikan dari penyakit. Oleh karena itu, pemantauan dan manipulasi komunitas mikroba di lingkungan akuakultur memiliki potensi besar dalam hal peningkatan kualitas air dan pengendalian perkembangan infeksi mikroba (Bentzon-Tilia et al., 2016).

Next Generation Sequencing (NGS) atau *high-throughput DNA sequencing* adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam studi metagenomik. NGS memungkinkan untuk melakukan sekuensing paralel dalam jumlah besar dengan ribuan hingga jutaan sekuens. Amplikon hasil sekuensing dapat digunakan untuk menggambarkan profil komunitas berdasarkan gen marker pada suatu ekosistem (De Mandal et al., 2015). Gen 16S ribosomal RNA (rRNA) telah banyak digunakan dalam penelitian keragaman bakteri sebagai penanda filogenetik taksa mikroba karena terdiri dari daerah terkonservasi dan hipervariabel yang cocok untuk amplifikasi PCR dan sekuensing. Gen 16S rRNA bakteri memiliki sembilan "daerah hipervariabel" (V1-V9) yang menunjukkan keragaman sekuens yang cukup besar di antara bakteri yang berbeda (Yang et al., 2016).

Herlambang dkk. (2021) telah menggunakan *Next Generation Sequencing* (NGS) atau *high-throughput DNA sequencing* dalam studi metagenomik dengan target hipervariabel V3-V4 untuk menganalisis mikrobioma yang ada pada air dan sedimen pada sawah budidaya padi dan sawah budidaya minapadi. Dengan pendekatan yang sama, Wijayanti et al. (2021) telah mengkaji mikrobioma pada kolam budidaya lele yang menunjukkan warna air yang berbeda. Penelitian tentang keragaman bakteri pada sistem akuakultur diharapkan dapat dikembangkan untuk mengoptimalkan produksi akuakultur melalui manajemen kualitas air dan pengendalian penyakit.

Kajian molekuler penyakit parasit

Kondisi akuakultur intensif, termasuk padat tebar yang tinggi dan stres, memfasilitasi transmisi parasit dan meningkatkan intensitas parasit pada ikan budidaya (Roumbedakis et al., 2013). Pengendalian penyakit dalam budidaya juga perlu memperhatikan penyakit yang ada pada ikan budidaya dan ikan liar di perairan terbuka. Ikan liar dapat berfungsi sebagai reservoir untuk parasit yang menginfeksi spesies komersial (Burger et al., 2008). Dalam kasus keramba jaring, fasilitas

budidaya menjadi substrat yang ideal untuk telur parasit melekat dan kepadatan ikan yang tinggi memfasilitasi penyebaran parasit di antara inang (Yang et al., 2007).

Ikan kerapu merupakan ikan yang bernilai komersial tinggi dan telah dibudidayakan di daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia, tetapi terutama dihasilkan dari Asia (Rimmer dan Glamuzina, 2017). Wijayanti et al. (2021) mendapatkan gejala baru berupa nodul merah di rongga mulut, bibir, maupun lengkung insang ikan kerapu macan dan cantang di Perairan Batam. Pengamatan morfologi dan analisis molekuler dengan PCR dan sekuensing *cytochrome oxidase* subunit-1 (Cox1) menunjukkan parasit dari famili Pennellidae. Studi ini untuk pertama kalinya dilakukan di Indonesia untuk mempelajari parasit pembentuk nodul yang menyerang rongga mulut kerapu dan kajian biologi molekulernya. Ikan kerapu di karamba jaring apung juga menghadapi penyakit parasit yang lain. Murwantoko et al. (2018) telah meneliti prevalensi dan intensitas lintah pada karamba jaring apung kerapu hibrida di Perairan Pegamatan Buleleng. Identifikasi berdasarkan pendekatan morfologi dan molekuler sekuens *cytochrome oxidase subunit-1* (Cox1) menunjukkan bahwa lintah tersebut adalah *Zeylanicobdella arugamensis*.

Penyakit parasit pada ikan telah ditemukan pada ikan liar atau ikan budidaya. Murwantoko et al. (2022) mengkaji penyakit parasit dari ikan gabus liar yang berasal dari Kandangan Lama, Kalimantan Selatan. Dari kajian ini ditemukan cacing nematoda pada daging. Cacing yang ditemukan sebagian besar berwarna putih berukuran sekitar 10 mm. Analisis molekuler dengan pengurutan 18S rRNA sepanjang 1.161 nukleotida menunjukkan homologi tertinggi sebesar 99,83% dengan *Tanqua tiara*. Penelitian melaporkan parasit nematoda baru, *T. tiara*, yang menyerang ikan gabus.

Kajian penyakit virus

Udang galah merupakan komoditas penting di Indonesia dan Asia. Pada bulan Desember 2011 di panti pembenihan udang galah di Yogyakarta, ditemukan post larva (PL) udang galah dengan munculnya otot berwarna putih, mulai di beberapa area ekor, meluas ke otot ekor (perut) dan meluas ke seluruh otot udang dan kematian massal mencapai 100% dalam waktu beberapa hari. Uji Postulat River menunjukkan adanya virus yang menyebabkan kematian udang. Analisis biologi molekuler seperti *Reverse Transcription-PCR*, analisis sekuens RNA, dan analisis ultrastruktur menggunakan TEM, membuktikan penyakit ekor putih (*white tail disease* WTD) ini disebabkan oleh *Macrobrachium rosenbergii* nodavirus (MrNV). Penelitian ini merupakan laporan pertama kejadian penyakit ekor putih di Indonesia (Murwantoko et al., 2016). Upaya pengendalian penyakit dengan desinfeksi PL, air, indukan, kolam dan peralatan di pembenihan udang, serta pengapuran dan pengeringan di kolam induk telah berhasil memberantas WTD dari panti pembenihan.

Koi herpes virus (KHV) merupakan penyakit penting yang dapat mengakibatkan kematian massal (80-100%) pada budidaya ikan mas (*Cyprinus carpio carpio*) dan ikan koi (*Cyprinus carpio koi*) baik secara intensif dan nonintensif dan menyebar di seluruh dunia (Way & Dixon, 2007). Murwantoko (2009) telah mengkonfirmasi keberadaan KHV pada ikan karper di Indonesia dengan melakukan PCR dan kloning gen ORF2 KHV. Hasil analisis sekuen DNA ORF2 KHV mendapatkan ORF2 KHV isolat Indonesia mempunyai homologi 100% dengan KHV strain Jepang (Strain J) atau strain Ibaraki (KHV0301) dan mempunyai homologi 98% dengan Strain I (Israel) dan Strain U (USA) dengan perbedaan 12 nukleotida. Hasil tersebut menunjukkan bahwa KHV di Indonesia paling mungkin berasal dari Jepang.

Viral nervous necrosis (VNN) merupakan penyakit penting dan sangat merugikan pada budidaya kerapu yang menyebabkan kematian massal pada stadia larva, yuwana, maupun stadia dewasa (Roza et al., 2004). VNN disebabkan oleh Betanodavirus, yang berdasarkan sekuen RNA2, dapat diklasifikasikan ke dalam 4 genotipe, yaitu: *stripped jack nervous necrosis virus* (SJNNV), *tiger puffer nervous necrosis virus* (TPNNV), *berfin flounder nervous necrosis virus* (BFNNV), dan *red spotted grouper nervous necrosis virus* (RGNNV) (Nishizawa et al., 1997).

Murwantoko et al. (2008) telah mengonfirmasi keberadaan VNN pada ikan kerapu macan dari Situbondo dengan *Reverse Transcription-PCR* terhadap RNA2 penyandi *major coat protein* (MCP). Dalam studi ini telah dilakukan kloning gen MCP VNN yang terdiri atas 1.017 nukleotida dan menyandi 339 asam amino. Hasil analisis sekuen nukleotida MCP VNN mendapatkan VNN isolat Indonesia termasuk dalam genotipe *red spotted grouper nervous necrosis virus* (RGNNV) dan mempunyai homologi tertinggi dengan *Dragon grouper nervous necrosis virus* yang diisolasi dari Tiongkok. Kajian terhadap RNA2 dari enam isolate VNN berbagai daerah di Indonesia semuanya termasuk dalam kelompok *red spotted grouper nervous necrosis virus* (RGNNV). Betanodavirus Indonesia ini mempunyai keragaman yang rendah dengan tingkat homologi yang tinggi sebesar 99%, dibandingkan dengan betanodavirus di Jepang dengan tingkat homologi 75% sampai 97% (Syakuri, 2007).

Megalocytivirus adalah genus terbaru dalam famili Iridoviridae yang merupakan agen penyebab penyakit yang serius pada ikan air tawar dan laut, dengan lebih dari 40 spesies ikan rentan terhadap penyakit ini dan tersebar secara global. Gejala klinis ikan yang terinfeksi megalocytivirus adalah pembengkakan limpa dan ginjal dan ditemukan *inclusion body forming bearing cell* (IBC) pada limpa, ginjal, jaringan hematopoietik, dan saluran pencernaan (Sudthongkong et al. 2002). Kematian yang disebabkan oleh infeksi megalocytivirus bervariasi antara 30% pada juvenil hingga 100% pada stadium larva. Analisis filogenetik menggunakan protein mantel utama (MCP) dan gen ATPase menunjukkan bahwa genus *Megalocytivirus*

dapat dibagi menjadi tiga kelompok yang diwakili oleh *Red seabream iridovirus* (RSIV), *infectious spleen and kidney necrosis virus* (ISKNV), dan *Turbot reddish body iridovirus* (TRBIV) (Kurita dan Nakajima 2012).

Murwantoko et al. (2009) menganalisis biologi molekuler megalocytivirus melalui kloning dan sekuensing gen megalocytivirus MCP dari ikan kerapu di Bali dan Jepara. Studi ini menunjukkan megalocytivirus dari Jepara (IJP01) dan Bali (IGD01) sebagai *infectious spleen and kidney necrosis virus* ISKNV dan di antara kedua isolat tersebut memiliki kesamaan 99,8% pada tingkat nukleotida dan 99,4% pada tingkat asam amino (Murwantoko et al., 2009). Studi lebih lanjut oleh Murwantoko et al. (2018) dilakukan terhadap 10 isolat sampel dari Batam, Lampung, Karimunjawa dan Situbondo. Analisis molekuler terhadap gen MCP, ATPase, DNA polymerase, RNA polymerase, CY15, dan IRB menunjukkan adanya genotipe RSIV, disamping ISKNV. Genotipe ISKNV terkonfirmasi pada sampel ikan asal Lampung, Jepara, Bali; sedang genotipe RSIV ditemukan pada ikan asal Batam, dan Situbondo. Menariknya, dua genotipe ISKNV dan RSIV ditemukan dari Karimunjawa.

Lymphocystis virus disease (LCDV) adalah agen penyebab penyakit *lymphocystis*, menginfeksi lebih dari 140 spesies ikan laut dan air tawar di seluruh dunia baik ikan liar maupun budidaya. Tanda-tanda patognomonik dari ikan yang terinfeksi *limfocystis* adalah pertumbuhan massa seperti tumor atau kutil pada sirip, kulit, atau insang. Ikan yang terinfeksi memiliki nilai pasar murah karena anemia terkait penyakit, munculnya lesi eksternal; penurunan tingkat pertumbuhan, kerentanan tinggi terhadap infeksi bakteri sekunder, dan tingkat kanibalisme yang tinggi (Hick et al., 2016). ICTV menyampaikan ada tiga spesies LCDV yaitu *Lymphocystis disease virus* 1 (LCDV-1), *Lymphocystis disease virus* 2 (LCDV-C), dan *Lymphocystis disease virus* 3 (LCDV-Sa) dengan genom masing-masing 102 kbp, 186 kbp, dan 208 kbp (Chinchar et al., 2017). *Lymphocystis disease virus whitemouth croaker* (*Micropogonias furnieri*) (LCDV-WM) merupakan iridovirus vertebrata terbesar dengan genom 211 kbp dan telah ditetapkan sebagai spesies baru, *Lymphocystis disease virus* 4 (Walker et al., 2021). Berdasarkan urutan gen MCP dan patogenisitas, lymphocystis viruse dapat dibagi menjadi sembilan genotipe (Palmer et al., 2012).

Pada bulan Maret 2021, beberapa ikan badut *Amphiprion ocellaris* menunjukkan gejala lesu, anoreksia, dan nodul mirip tumor di permukaan tubuh. Murwantoko et al. (2022) mengonfirmasi keberadaan LCDV dengan melakukan analisis molekuler menggunakan PCR terhadap gen *major capsid protein* MCP, DNA Polimerase dan *myristylated membrane protein* (MMP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ikan badut terinfeksi oleh LCDV dan virus ini memiliki ihomologi tertinggi dengan LCDV-Sa dan termasuk spesies virus penyakit *Lymphocystis* 3. Analisis filogenik berdasar urutan asam amino MCP menunjukkan

virus dari Batam ini terletak pada cabang yang terpisah dari yang lain, sehingga memberikan genotipe baru (genotipe ke-10).

Pengembangan deteksi penyakit

Pencegahan wabah penyakit dapat dilakukan dengan pendeteksian terhadap keberadaan virus pada ikan. Adanya pendeteksian virus baik pada induk ikan, maupun sampel ikan kerapu lainnya memungkinkan untuk melakukan karantina atau pencegahan dini sehingga virus tidak menyebar ke ikan lainnya yang masih sehat. Berbagai metode deteksi virus telah banyak dikembangkan saat ini, antara lain pengamatan mikroskopik, deteksi virion dengan mikroskop elektron, deteksi antigen virus secara serologi (imunodiagnosis), deteksi nukleotida dengan teknik molekuler, deteksi antibodi spesifik, dan menginokulasi virus pada kultur jaringan (Munday et al., 2002).

Polymerase chain reaction (PCR) merupakan teknik amplifikasi atau perbanyakkan rantai DNA dengan pengulangan siklus reaksi yang terdiri atas tahapan denaturasi atau pemisahan rantai ganda DNA, *annealing* atau penempelan primer pada sekuen DNA yang sesuai, dan polimerisasi atau pemanjangan rantai DNA dari primer untuk membentuk komplemen DNA-nya. Pengaturan siklus tersebut dilakukan dengan mengatur suhu reaksi dalam suatu *thermocycler*. Metode PCR ini telah digunakan untuk berbagai kepentingan diantaranya untuk deteksi penyakit ikan baik yang tergolong dalam parasit, bakteri, maupun virus. Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan, Departemen Perikanan, Fakultas Pertanian UGM telah mengembangkan berbagai primer yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan deteksi penyakit ikan.

Pengkajian di laboratorium mengonfirmasi keberadaan virus serta mengarakterisasi virus sebagaimana yang sudah disampaikan sebelumnya. Seperti *Macrobrachium rosenbergii* nodavirus (MrNV) (Murwantoko et al., 2016), koi herpesvirus (Murwantoko, 2009), *viral nervous necrosis* (VNN) (Murwantoko et al. 2008), dan megalocytivirus (Murwantoko et al. 2009). Primer-primer yang digunakan dan didesain dalam penelitian tersebut dapat digunakan sebagai primer untuk deteksi virus-virus terkait.

Murwantoko et al. (2018) telah berhasil mendeteksi megalocytivirus dari genotipe ISKNV dan genotipe RSIV. Abidin (2018) telah mengembangkan deteksi molekuler Megalocytivirus yang mampu membedakan genotipe ISKNV dan RSIV dengan metode *Polymerase Chain Reaction-Restriction Fragment Length Polymorphism* (PCR-RFLP). Primer didesain pada daerah lestari megalocytivirus pada ORF 120 dan ORF 121 ISKNV, sedang enzim endonuclease yang digunakan adalah *EcoRV*. Laboratorium juga mengembangkan multiplex PCR yang mampu membedakan genotipe ISKNV dan RSIV. Analisis PCR-RFLP dan multiplex PCR

ini juga telah mengkonfirmasi Megalocytivirus genotipe ISKNV yang menyerang ikan air tawar yaitu nila merah, nila hitam, dan gurami dari Purwokerto.

Metode amplifikasi DNA *loop-mediated isothermal amplification of DNA* (LAMP) mampu mengamplifikasi fragmen DNA pada kondisi isothermal menggunakan enzim *Bst* DNA polimerase dengan 4 buah primer yang mengenal 6 daerah spesifik. Teknik LAMP ini mempunyai keunggulan tidak memerlukan *thermocycler* tapi cukup dengan *waterbath*, mempunyai spesifitas dan kepekaan lebih tinggi dibandingkan dengan metode PCR, dan reaksi positifnya bisa dilihat secara langsung dari *tube*, tidak memerlukan elektroforesis pada agarose (Notomi et al., 2000).

Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan telah mengembangkan LAMP untuk koi herpesvirus (KHV), betanodavirus penyebab VNN dan megalocytivirus. Murwantoko et al. (2010) mengembangkan metode LAMP untuk mendeteksi koi herpesvirus. Metode LAMP ini mampu mendeteksi keberadaan DNA KHV dengan hasil teknik LAMP ini 100 kali lebih sensitif dibanding PCR konvensional. Sumino (2014) telah mengembangkan metode LAMP untuk mendeteksi megalocytivirus pada ikan kerapu dan metode LAMP ini memiliki sensitivitas sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan dengan metode PCR

Pengembangan vaksin virus

Peningkatan pertahanan baik spesifik maupun non spesifik merupakan usaha yang sangat penting dalam pengendalian penyakit. Imunisasi/vaksinasi terhadap ikan merupakan cara peningkatan pertahanan spesifik untuk menanggulangi penyakit ikan. Berbagai jenis vaksin yang diberikan dapat berupa *killed vaccine*, *live attenuated vaccine* (dilemahkan), maupun rekombinan vaksin. Vaksin rekombinan lebih aman karena tidak memiliki risiko patogen, penyimpanan, dan pembuatannya juga mudah. Pemilihan jenis protein menjadi penting untuk mendapatkan protein yang imunogenik, yang dapat diprediksi dengan keberadaan epitop pada protein tersebut.

Murwantoko et al. (2016) telah berhasil mengkloning dan mengekspresikan protein rekombinan ORF25 dari KHV yang menginfeksi ikan karper dari Magelang di bawah vektor ekspresi plasmid pET-32. Hasil purifikasi menggunakan Ni-NTA menunjukkan protein ini berukuran 45 kDa. Hasil analisis menunjukkan ORF25 KHV ini mempunyai beberapa epitop sel B dan sel T. Selanjutnya Ismail (2014) menggunakan protein tersebut digunakan untuk vaksinasi ikan karper. Hasil penelitian menunjukkan setelah diuji tantang dengan KHV, ikan yang diberi vaksin protein rekombinan mempunyai sintasan yang lebih tinggi dan waktu kematian yang lebih lama dibandingkan dengan kontrol yang tidak divaksin. Metode vaksinasi paling efektif adalah metode injeksi intramuskular dengan nilai sintasan mencapai 63,33% tingkat perlindungan relatif 63,3%, dan rerata waktu kematian ikan 386 jam.

Putro (2016) menganalisis ORF138 KHV mendapatkan prediksi epitop sel B sebanyak 10 epitop dan prediksi epitop sel T sebanyak 12 epitop. Protein ORF138 KHV berhasil diekspresikan dan hasil dari purifikasi menggunakan Ni-NTA menunjukkan bahwa protein ORF138 berukuran sekitar 33 kDa. Sugiri (2017) melakukan penelitian empat dosis vaksin ORF138 KHV (10 µg/ikan, 15 µg/ikan, 20 µg/ikan, dan 25 µg/ikan) secara injeksi *intramuscular*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian vaksin protein rekombinan dapat meningkatkan sintasan karper.

Murwantoko et al. (2012) telah berhasil mengklon gen ORF124 KHV ke dalam pBSKS dan disekuensing. Hasil analisis menunjukkan bahwa ORF 124 KHV mempunyai 100% kesamaan dengan *Cyprinid herpesvirus 3* DNA strain TUMST1 (AP008984.1), 99% kesamaan dengan *koi herpesvirus* strain KHV-U (DQ657948.1), dan *koi herpesvirus* strain KHV-I (DQ177346.1). Selanjutnya protein ORF 124 ini berhasil diekspresikan pada *E. coli* di bawah plasmid pET32a meskipun dalam aras ekspresi yang tidak terlalu tinggi.

Penelitian di Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan telah berhasil memproduksi protein rekombinan coat protein betanodavirus penyebab VNN. Protein rekombinan ini bersifat imunogenik, dan ketika diaplikasikan pada kerapu tikus bersifat protektif dan ketika diberikan secara intra muskular memberikan tingkat perlindungan relatif (RPS) sebesar 69,7%. Vaksinasi dapat diaplikasikan melalui bioenkapsulasi. Bioenkapsulasi vaksin betanodavirus dengan *Artemia* sp. pada larva kerapu tikus (*Cromileptes altivelis*) menunjukkan bahwa ikan yang diberi vaksin bioenkapsulasi mempunyai sintasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Sintasan tertinggi diperoleh pada pemberian vaksin bioenkapsulasi dengan dosis 125 µg/ml dengan perendaman selama 90 menit (Bimantara, 2011).

Kombinasi vaksinasi protein rekombinan VNN pada benih kerapu tikus dengan penambahan imunostimulan KAl(SO₄)₂, kitosan, glukukan maupun kitin, memberikan tingkat kelulushidupan yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa vaksinasi. Kombinasi vaksin protein rekombinan coat protein betanodavirus dengan KAl(SO₄)₂ memberikan tingkat kelulushidupan benih (76,35%) dan tingkat perlindungan relatif tertinggi (60,58%).

Produksi protein juga dilakukan terhadap megalocytivirus. Winiasri (2016) berhasil mengkloning gen ORF 007L dengan ukuran ±1.400 bp dari ikan kerapu cantik yang terinfeksi dan menunjukkan homologi 98% dengan spesies *Infectious Spleen and Kidney Necrosis Virus*. Protein ORF 007L ISKNV berhasil diekspresikan dengan vektor pET-32a berukuran 71 kDa, diprediksi bersifat imunogenik dan berhasil dipurifikasi dengan Ni-NTA agarose.

TANTANGAN KE DEPAN

Pada kajian genomik, berbagai penanda genetik molekuler telah dikembangkan dan dapat digunakan untuk mempelajari genom, melakukan pemetaan hubungan gen/*gene-linkage*, menentukan letak gen pada kromosom, mengetahui ekspresi gen, melakukan analisis genetik populasi, dan menerapkan seleksi berbantuan penanda (*marker-assisted selection*). Pemetaan keterkaitan *linkage mapping* telah dilakukan pada spesies model, seperti zebrafish dan buntal, dan juga untuk spesies komersial seperti lele, tilapia, salmon, udang, dan tiram. Penanda QTL untuk pertumbuhan, efisiensi konversi pakan, toleransi penyakit bakteri, waktu pemijahan, tingkat perkembangan embrio, dan toleransi dingin telah diidentifikasi dari berbagai spesies (Dunham, 2011).

Setelah genomik, analisis transkriptomik, mengkaji studi ekspresi gen memainkan peran penting dalam mengidentifikasi gen-gen objek kajian, misalnya terkait pertumbuhan, kekebalan, dan respons terhadap penyakit infeksi. Pendekatan proteomik dan metabolomik akan memberikan informasi pemahaman jalur proses fisiologis, misalnya biosintetik terkait imun selama infeksi patogen. Analisis integratif alat multiomik diperlukan untuk lebih memahami sistem biologi hewan air dan mengembangkan teknologi akuakultur, misalnya strategi pengobatan dan pencegahan yang lebih baik untuk mengatasi penyakit akuakultur akibat infeksi mikroba.

Transfer gen adalah teknik pertama yang digunakan untuk menghasilkan ikan hasil rekayasa genetika. Pada tahun 1984, gen hormon pertumbuhan manusia pertama kali disuntikkan secara mikro ke dalam telur ikan mas. Teknologi elektroporasi, *sperm-mediated gene transfer*, *virus-mediated transfer* dan *transposon-mediated transfer* telah dikembangkan untuk menghasilkan transfer DNA eksogen yang efisien ke dalam ikan. Selanjutnya, teknik penyuntingan gen, seperti *zinc-finger nucleases* (ZFNs), *transcription activator-like effector nucleases* (TALENs), *clustered regularly interspaced short palindromic repeats/associated nuclease Cas9* (CRISPR/Cas9) dan *single-base editing* (BEs) (Wang et al., 2021), *ribonucleoprotein (RNP) complexes* (Gartacap et al., 2020) telah digunakan untuk mengembangkan galur ikan yang dimodifikasi secara genetik. Ikan hasil rekayasa genetika pada awalnya dibuat untuk pemuliaan hewan yang lebih baik. Lebih dari 35 spesies telah direkayasa secara genetik di laboratorium penelitian di seluruh dunia (Wakchaure, 2015).

Pada bidang genetik, kajian biologi molekuler kebanyakan masih terbatas pada identifikasi dan keragaman genetik. Perlu penguatan kajian yang mengarah pada identifikasi penanda yang terkait atau spesifik dengan karakter-karakter tertentu. Dari dasar ini dapat dikembangkan pemuliaan dengan target karakter spesifik dapat didesain lebih akurat dan efisien. Teknik transfer gen perlu dikembangkan untuk mendapatkan ikan-ikan yang mempunyai karakter-karakter unggul. Peluang diterimanya produk rekayasa genetik lebih terbuka. Pada tahun 2015, *the United*

States Food and Drug Administration telah memberikan persetujuan untuk pertama kalinya AquAdvantage Salmon untuk konsumsi manusia.

Metode biologi molekuler telah dikembangkan di laboratorium untuk mendeteksi berbagai penyakit ikan dengan hasil sensitivitas yang tinggi dan spesifisitas yang baik. Sehingga hasil kajian di laboratorium ini perlu diaplikasikan di lapangan. Metode biologi molekuler ini masih menjadi metode andalan untuk deteksi penyakit pada ikan. Pada bidang yang lain telah dikembangkan *Intelligent Diagnosis* terutama menggunakan *image-processing technology* untuk mendeteksi penyakit. Meskipun demikian, keragaman dan heterogenitas penyakit ikan serta kompleksitas lingkungan air telah meningkatkan kesulitan tidak hanya diagnosis, tetapi juga akuisisi citra metode diagnostik (Li et al., 2022).

Di atas sudah diuraikan pengembangan vaksin terutama dalam bentuk protein rekombinan dari berbagai virus, dan hasil pengujian pada berbagai jenis ikan menunjukkan bahwa protein rekombinan tersebut efektif dan mampu meningkatkan ketahanan ikan terhadap penyakit virus. Untuk masa mendatang perlu dikembangkan kajian aplikasi vaksin ini di lapangan dengan metode lapangan yang sesuai dan secara ekonomis menguntungkan. Untuk meningkatkan jaminan perlindungan dapat dikembangkan juga bentuk vaksin-vaksin virus yang lain misalnya vaksin DNA, *live attenuated vaccine*, dan lain-lain. Dalam konteks manajemen kesehatan ikan, perlu dikembangkan pendekatan yang komprehensif, dan vaksinasi hanyalah salah satu komponennya. Kegiatan lain yang perlu dilakukan antara lain stok ikan yang tahan terhadap penyakit (misalnya melalui pemuliaan ataupun transgenik), peningkatan pertahanan nonspesifik dengan imunostimulan, pemberian probiotik untuk meningkatkan ketahanan inang, perlakuan agen bioremediasi untuk perbaikan lingkungan dan rekayasa akuakultur untuk mendapatkan lingkungan yang stabil.

Dalam kasus protein rekombinan, ada sebagian orang berpendapat bahwa bahan tersebut adalah produk rekayasa gentika yang perlu dilakukan pengawasan secara ketat. Kebijakan yang memberikan kemudahan dan fasilitasi hasil-hasil karya anak bangsa sangat diperlukan untuk menggairahkan dalam karya dan memenuhi kebutuhan nasional. Tuntutan-tuntutan kegiatan pengembangan ke depan memerlukan sumber daya yang sangat besar. Hal tersebut tidak mungkin dilakukan oleh sebuah institusi. Oleh karena itu sinergi dan kolaborasi antar institusi penelitian maupun *stakeholder* lainnya perlu dibangun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bapak-bapak dan Ibu-ibu yang terhormat,

Atas diraihnya jabatan Guru Besar ini, saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini Kementerian Pendidikan,

Kebudayaan, Riset dan Teknologi, yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk menjabat sebagai Guru Besar dalam bidang Ilmu Perikanan di Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Rektor, Senat Akademik, Majelis Guru Besar, Dekan dan Wakil Dekan, dan Senat Fakultas Pertanian, serta Departemen Perikanan Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan kesempatan, bantuan, dukungan, dan menyetujui saya untuk menjabat sebagai Guru Besar.

Ucapan terima kasih yang mendalam saya haturkan kepada yang tercinta ibu dan bapak saya, Suratinem dan Mediantoro, yang telah mengasuh, mendidik, dan membesarkan dengan penuh kasih sayang dengan suka dan dukanya. Semoga semua upaya beliau menjadi amal jariyah dan dibalas dengan yang lebih baik oleh Allah SWT. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada Bapak mertua almarhum S.P. Soewarno, ibu mertua almarhumah Suherti atas dukungan, doa, dan bimbingannya. Terima kasih juga saya sampaikan kepada istri tercinta, Maharsi Prehastuti atas dukungan, kebersamaan, kesabaran dalam menjalani segala pernik kehidupan keluarga. Terima kasih kepada anak-anak saya tercinta: Hanifah Dzakiyah, Muhammad Iyas Abdul Alim, Shofarina Adilah, Ismail Abdurrahim dan Farah Abida atas pengertian dan kesabaran ditengah kesibukan ayah pada berbagai kegiatan. Terima kasih kepada menantu Mas Abdur Rahman Faqih yang telah menjadi anggota baru dalam keluarga.

Terima kasih kepada saudara-saudara Murtanto, Murwan Kendrasto, Murwantono, Murwindiyani, Murwidiantoko yang telah memberikan kasih sayang, berbagi dan tumbuh bersama dalam suasana damai dan saling menyayangi. Terima kasih kepada kakak dan adik ipar beserta para keponakan yang menjadikan rumah menjadi lebih ramai dan bersemangat. Terima kasih saya ucapkan kepada keluarga besar dari jalur Pontianak, almarhumah Mbak Didut-Bang Wito, Mas Aan DianPatria-Mbak Etik Heruwati, Mbak Wiwin Cahyaningsih-Mas Resmi Guno, Dik Tatik-almarhum Dik Bambang, Dik Hono-Dik Kalis, Dik Kokok-Dik Dar beserta keluarganya atas silaturahmi dan kebersamaannya. Semoga semua kebaikan tersebut dicatat amal jariyah dan dibalas oleh Allah SWT dengan balasan yang jauh lebih baik.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada guru-guru saya di SD Muhammadiyah Mlangi III (sekarang SD Muhammadiyah Kronggahan) terlebih kepada Bapak Giyono SW, guru-guru di SMPN Trihanggo (sekarang SMP 2 Gamping) dan guru-guru di SMAN 4 Yogyakarta. Kepada para dosen-dosen kami di Fakultas Pertanian UGM khususnya dosen-dosen di Departemen Perikanan, saya ucapkan terima kasih atas segala curahan ilmu dan bimbingan selama saya menempuh pendidikan sarjana. Ucapan terima kasih secara khusus kepada almarhum Bapak Prof. Dr. Ir. Kamiso Handoyo Nitimoelyo, M.Sc. dan Bapak Dr.

Ir. Triyanto, M.Si. (sebagai Dosen Pembimbing Skripsi), yang telah memberikan bimbingan dalam memahami ilmu, melakukan penelitian, dan berkarir.

Terima kasih saya ucapkan kepada dosen-dosen di Program Studi Bioteknologi UGM yang telah memberikan pemahaman dan keterampilan khususnya dalam biologi molekuler. Ucapan terima kasih secara khusus kepada almarhum Bapak Prof. Dr. Ir. Kamiso Handoyo Nitimoelyo, M.Sc. dan Almarhum Bapak Prof. Dr. Ir. Y.B. Sumardiono, M.Sc. (sebagai Dosen Pembimbing Tesis). Ucapan terima kasih spesial saya sampaikan kepada almarhum Bapak Prof. Dr. Ir. Joedoro Soedarsono yang telah mengarahkan dan memfasilitasi sehingga dapat melanjutkan studi doktoral di Jepang.

Ucapan terima kasih yang tidak terhingga saya sampaikan kepada yang telah berada di tempat peristirahatan Ibu Sachiko Iida yang telah memberikan banyak perhatian dan biaya untuk studi doktor di Jepang, bahkan juga untuk keluarga. Perhatian dan bantuan beliau tetap diberikan kepada saya dan keluarga setelah selesai studi, bahkan sampai saya mendapatkan jabatan guru besar. Saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Masashi Kawaichi, dan Dr. Chio Oka dari *Nara Institute of Science and Technology* Jepang yang telah membimbing saya selama menempuh studi doktoral, terutama pemahaman konsep dan teknik laboratorium, metode penelitian, dan penulisan disertasi. Beliau terus membantu saya dalam mengembangkan karir setelah saya selesai studi doktoral.

Saya ucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Senat Fakultas dan Dekan Fakultas Pertanian UGM periode 2016-2021, Bapak Dr. Jamhari, S.P., M.P. beserta jajarannya, Dekan Pertanian UGM saat ini, Ir. Jaka Widada, M.P., Ph.D. beserta jajarannya atas fasilitas, bantuan, dan dukungannya terhadap pengajuan jabatan Besar saya; juga kepada Prof. Dr. Ir. Bambang Hadi Sutrisno, DAA., dan Prof. Dr. Ir. Susanto, M.Sc., yang selalu memotivasi, membantu, dan mendoakan hingga saya bisa meraih jabatan guru besar. Kami ucapkan terima kasih juga kepada para senior Ibu Ir. Retno Widaningroem, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Rustadi, M.Sc., almarhum Dr. Ir. Iwan Yusuf B.L., Ir. Sukiman WS, M.S., Ir. Supardjo S.D., S.U. yang selalu memberikan motivasi kepada saya.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Richard Whittington dan kolega dari *the University of Sydney* atas kolaborasinya yang telah dibangun selama ini baik kegiatan di Indonesia maupun di Australia. Kepada para kolaborator kami di berbagai program antara lain ACIAR (*the University of Sydney*, CSIRO), JASSO (Japan), TCP-FAO, Erasmus (khususnya *Autonomous University of Barcelona*), Erasmus (*the University of Stirling*), *National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research and Education Agency Japan*, *Hiroshima University*, TFO- Kanada atas kerjasamanya. Kepada teman-teman di organisasi profesi Indonesian Network of Fish Health Management INFHEM, terima kasih atas kerja samanya untuk akuakultur yang lebih sehat. Terima kasih kepada Perkumpulan Akademisi dan

Saintis Indonesia (ASASI) baik Pengurus Pusat maupun Wilayah DIY atas motivasi dan silaturahmi. Kepada teman-teman FP2TPKI tahun 2016-2020 yang diketuai oleh Dr. Luky Ardianto, M.Sc. serta *ASEAN Fisheries Education Networks*, saya mengucapkan banyak terima kasih atas kesempatan dan suasana yang nyaman dalam usaha untuk memajukan bidang perikanan. Terima kasih juga saya ucapkan kepada teman-teman di Pimpinan Ranting Muhammadiyah Trihanggo Utara dan Selatan atas doa dan kebersamaannya dalam melayani umat.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada sivitas akademika di Fakultas Pertanian UGM: para dosen, tenaga kependidikan, para mahasiswa dan alumni yang membanggakan atas segala kerja sama dan dukungan selama ini untuk memajukan almamater kita secara bersama. Kepada semua kerabat, kolega, teman, dan siapa pun yang telah bekerja sama, membantu, dan berjasa kepada saya, namun tidak bisa disebutkan satu per satu, saya ucapkan terima kasih sekaligus mohon maaf karena tidak menyebut nama-namanya. Dengan iringan doa semoga mendapatkan pahala yang lebih baik dari Allah SWT. *Jazakumullahu kharan katsiran*

Terakhir, kepada para hadirin yang telah sudi meluangkan waktu dan bersabar mengikuti acara ini, saya mengucapkan banyak terima kasih. Kepada seluruh rekan-rekan yang membantu penyelenggaraan acara ini, saya mengucapkan terima kasih. Apabila ada kekurangan dan kesalahan mohon kiranya dapat dimaafkan.

Billahitaufiq wal hidayah.

Wassalamualaikum wr. wb.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, LOB. 2013. Deteksi Molekuler Megalocytivirus Pada Ikan Budidaya Dengan Metode *Polymerase Chain Reaction-Restriction Fragment Length Polymorphism*. (Tesis, Program Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada).
- Ayun, N. Q., Syarifah, R. F., & Setyobudi, E. (2022). Anisakis Infection of Belanger's Croaker (*Johnius Belangerii* Cuvier 1830) at The Indian Ocean Coast of Yogyakarta, Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 15(1). 29–36
- Ayun, N. Q., Dewi, L. S., Murwantoko, & Setyobudi, E. (2021). The occurrence of Anisakis larvae on hairtail, *Trichiurus lepturus* caught from the Pangandaran Waters, West Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(3), 1378-1384
- Bentzon-Tilia, M., Sonnenschein, E. C., & Gram, L. (2016). Monitoring and managing microbes in aquaculture—Towards a sustainable industry. *Microbial biotechnology*, 9(5), 576-584.
- Bondad-Reantaso, M. G., Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Ogawa, K., Chinabut, S., Adlard, R., ... & Shariff, M. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary parasitology*, 132(3-4), 249-272.
- Roumbedakis, K., Marchiori, N. C., Paseto, Á., Gonçalves, E. L. T., Luque, J. L., Cepeda, P. B., ... & Martins, M. L. (2013). Parasite fauna of wild and cultured dusky-grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) from Ubatuba, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 73, 871-878.
- Bromage, N., Porter, M., & Randall, C. (2001). The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, 197(1-4), 63-98.
- Burger, M. A. A., Barnes, A. C., & Adlard, R. D. (2008). Wildlife as reservoirs for parasites infecting commercial species: host specificity and a redescription of *Kudoa amamiensis* from teleost fish in Australia. *Journal of Fish Diseases*, 31(11), 835-844.
- Burhanuddin, A. I., & Iwatsuki, Y. (2003). *Trichiurus nickolensis*, a new hairtail from Australia belonging to the *Trichiurus russelli* complex (Perciformes: Trichiuridae). *Ichthyological Research*, 50, 270-275.
- Dahuri, R. 2020. Arah Baru Kebijakan Pembangunan Kelautan dan Perikanan menuju Indonesia Maju, Sejahtera dan Berdaulat. Komisi Pemangku Kepentingan, Kementerian Kelautan dan Perikanan
- De Mandal, S., Panda, A. K., Bisht, S. S., & Kumar, N. S. (2015). Microbial ecology in the era of next generation sequencing. *Next Generat Sequenc & Applic S*, 1, 2.

- FDA. 2018. FDA Approves Application for AquaBounty Salmon Facility in Indiana.. <https://www.fda.gov/animal-veterinary/cvm-updates/fda-approves-application-aquabounty-salmon-facility-indiana>
- Dunham, R. A. (2011). Aquaculture and fisheries biotechnology: genetic approaches. Cabi.
- Firawati, I. K. A., Murwantoko, & Setyobudi, E. (2017). Morphological and molecular characterization of hairtail (*Trichiurus* spp.) from the Indian Ocean, southern coast of East Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 18(1), 190-196
- Firdaus 2014 Efikasi Vaksin Protein Rekombinan ORF25 KHV Pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). (Skripsi, Program Studi Budidaya Perikanan, Universitas Gadjah Mada).
- Gratacap, R. L., Jin, Y. H., Mantsopoulou, M., & Houston, R. D. (2020). Efficient genome editing in multiple salmonid cell lines using ribonucleoprotein complexes. Marine Biotechnology, 22(5), 717-724.
- Gudkovs, N., & Walker, P. J. (2014). Stability of the WSSV ORF94 VNTR genotype marker during passage in marine shrimp, freshwater crayfish and freshwater prawns. Diseases of Aquatic Organisms, 111(3), 249-257.
- Guo, F. C., & Woo, P. T. K. (2009). Selected parasitosis in cultured and wildfish. *Veterinary Parasitology*, 163(3), 207-216.
- Habibie, S. A., & Djumanto, M. (2018). Polikromatik, dimorfisme seksual, dan redeskripsi spesies ikan red devil *Amphilophus amarillo* [Stauffer & McKaye, 2002] di Waduk Sermo Yogyakarta. J Iktiologi Indones, 18(1), 69-86.
- Hardaningsih, I. 2001. Penelusuran Variasi Fenotip Gurami (*Osphronemus goramy*) di Daerah Istimewa Yogyakarta (Tesis Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada)
- Hardaningsih, I., Murwantoko, & Helmiati, S. (2012) 7 Rejeki Budidaya Gurami. Kanisius
- Herlambang, A., Murwantoko, & Istiqomah, I. (2021). Dynamic change in bacterial communities in the integrated rice–fish farming system in Sleman, Yogyakarta, Indonesia. Aquaculture research, 52(11), 5566-5578.
- Hick, P., Becker, J., & Whittington, R. (2016). Iridoviruses of fish. In Aquaculture virology (pp. 127-152). Academic Press.
- Kamiso, H.N., Triyanto and Murwantoko. 1998. Isolasi dan karakterisasi biomolekuler isolat Monodon baculovirus. Biologi 2(5): 235-245
- Klapper, R., Kochmann, J., O'Hara, R. B., Karl, H., & Kuhn, T. (2016). Parasites as biological tags for stock discrimination of beaked redbfish (*Sebastes mentella*): Parasite infra-communities vs. limited resolution of cytochrome markers. Plos one, 11(4), e0153964.

- Kratochwil, C. F., Sefton, M. M., & Meyer, A. (2015). Embryonic and larval development in the Midas cichlid fish species flock (*Amphilophus* spp.): a new evo-devo model for the investigation of adaptive novelties and species differences. *BMC Developmental Biology*, 15(1), 1-15.
- Kurita, J., & Nakajima, K. (2012). Megalocytiviruses. *Viruses*, 4, 521–538.
- Leung, T. L., & Bates, A. E. (2013). More rapid and severe disease outbreaks for aquaculture at the tropics: implications for food security. *Journal of applied ecology*, 215-222.
- Li, D., Li, X., Wang, Q., & Hao, Y. (2022). Advanced Techniques for the Intelligent Diagnosis of Fish Diseases: A Review. *Animals*, 12(21), 2938.
- Moriarty, D. J. (1997). The role of microorganisms in aquaculture ponds. *Aquaculture*, 151(1-4), 333-349.
- Munday, B. L., Kwang, J., & Moody, N. (2002). Betanodavirus infections of teleost fish: a review. *Journal of Fish Diseases*, 25(3), 127-142.
- Murwantoko (2004) Analysis of HtrA genes in Animals : Identification of HtrA from Fruit flies nad Zebrafish, Immunological Properties of Mammalian HtrA1 and HtrA3, and Roles of PDZ domain on Protease Activity of HtrA1 (DoctoralThesis, Department of Molecular Biology, Graduate School of Biological Science, Nara Institute of Science nad Technology)
- Murwantoko (2006). Metode Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) dan Aplikasinya untuk Deteksi Penyakit Ikan. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 8(1), 1-8.
- Murwantoko (2009). Cloning ORF2 Membrane Protein of Koi Herpesvirus Lake Toba, Indonesian Isolate. *HAYATI Journal of Biosciences*, 16(2), 49-49.
- Murwantoko. 2011. Kloning dan Analisis Sekuens Gen Penyandi Outer Membrane Protein dari *Vibrio*. *Aquacultura Indonesiana* 12:13-19.
- Murwantoko dan Hardaningsih, I. (2008) Studi Keragaman Genetik gouram (*Osphronemus goramy*, Lac.) dengan Pendekatan Sekuen 5S rDNA. *Aquacultura Indonesiana* 9(3):125-134
- Murwantoko, Bimantara, A., Roosmanto, R., & Kawaichi, M. (2016). *Macrobrachium rosenbergii* nodavirus infection in a giant freshwater prawnhatchery in Indonesia. *Springerplus*, 5(1), 1-8.
- Murwantoko, Handayani, C. R., & Pratiwi, R. (2009). Cloning and sequence analysis of capsid protein gene of iridovirus Indonesian isolates. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 14(1), 1117-1123.
- Murwantoko, & Hayati, J. 2022. Record on Nematode *Tanqua tiara* Infection on Snakehead Fish *Channa striata* in South Kalimantan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* 14 (2), 260-271

- Murwantoko, Harahap, F.F., Ustadi, Triyanto, Nitimulyo, H.N. 2009. Sensitivity test of Immunodiagnosis and RT-PCR for detection of Viral Nervous Necrosis. Proceeding of National Seminar Research on Fisheries and Marine Science VI. Yogyakarta 25 July 2009
- Murwantoko, Negoro, S. L. C., Isnansetyo, A., & Zafran, Z. (2018). Identification of marine leech and assessment of its prevalence and intensity on cultured hybrid groupers (*Epinephelus* sp.). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(5), 1798-1804.
- Murwantoko, Oka, C., & Kawaichi, M. (2005). Analysis of Htra Gene from Zebrafish (*Danio rerio*). *Indonesian Journal of Biotechnology*, 10(2), 830-839.
- Murwantoko, Sari, D. W. K., Handayani, C. R., & Whittington, R. J. (2018). Genotype determination of megalocytivirus from Indonesian Marine Fishes. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(5), 1730-1736.
- Murwantoko, Setyowati, D. N. A., Pratiwi, R., & Kawaichi, M. (2012). Cloning and expression of ORF124 koi herpesvirus as a vaccine. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 17(1), 42-50.
- Murwantoko, Widada, J., & Nuraini, Y. L. (2008). Cloning and sequence analysis of coat protein gene of betanodavirus, the causative agent of viral nervous necrosis of grouper. *Indonesian J. of Biotechnology*, 13(1), 1048-1054
- Murwantoko, Wijayanti, E., Agustatik, S., Valianti, H., Yulanda, L. K., & Nukmah, N. L. F. (2022). Detection And Genotype Determination Of Lymphocystis Disease Virus From Orange Clownfish *Amphiprion Percula* In Batam. *Indonesian Aquaculture Journal*, 17(2), 165-172.
- Nakamura, I., & Parin, N. V. (1993). Snake mackerels and cutlassfishes of the world. *FAO Fisheries synopsis*, 15(125), I.
- Nishizawa, T., Furuhashi, M., Nagai, T., Nakai, T., & Muroga, K. (1997). Genomic classification of fish nodaviruses by molecular phylogenetic analysis of the coat protein gene. *Applied and environmental microbiology*, 63(4), 1633-1636.
- Notomi, T., Okayama, H., Masubuchi, H., Yonekawa, T., Watanabe, K., Amino, N., & Hase, T. (2000). Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic acids research*, 28(12), e63-e63.
- Palmer, L. J., Hogan, N. S., & Van den Heuvel, M. R. (2012). Phylogenetic analysis and molecular methods for the detection of lymphocystis disease virus from yellow perch, *Perca flavescens* (Mitchell). *Journal of Fish Diseases*, 35(9), 661- 670.
- Park, K., Lee, J. S., Kang, J. C., Kim, J. W., & Kwak, I. S. (2015). Cascading effects from survival to physiological activities, and gene expression of heat shock protein 90 on the abalone *Haliotis discus hannai* responding to continuous thermal stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 42(2), 233-240.

- Prayogo, N. A., Wijayanti, G. E., Murwantoko, Kawaichi, M., & Astuti, P. (2011). Structure and phylogenetic of GnRH genes of Hard-lipped barb (*Osteochilus hasselti* CV). Middle-East Journal of Scientific Research, 10(3), 332-341.
- Prayogo, N. A., Wijayanti, G. E., Murwantoko, & Astuti, P. (2012). Effect of photoperiods on melatonin levels, the expression cGnRH-II and sGnRH genes and estradiols level in hard-lipped barb (*Osteochilus hasselti* CV). Global veterinaria, 8(6), 591-597.
- Putra, S.S. 2016. Kloning, Ekspresi Gen dan Purifikasi Protein ORF138 Koi herpesvirus sebagai Kandidat Vaksin. (Tesis, Program Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada).
- Rimmer, M. A., & Glamuzina, B. (2019). A review of grouper (Family Serranidae: Subfamily Epinephelinae) aquaculture from a sustainability science perspective. Reviews in Aquaculture, 11(1), 58-87.
- Roza, D., Johnny, F., & Tridjoko, T. (2017). Peningkatan Imunitas Yuwana Ikan Kerapu Bebek, *Cromileptes Altivelis* Terhadap Infeksi Viral Nervous Necrosis (VNN) Dengan Cara Vaksinasi Melalui Perendaman. Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia, 10(1), 61-70.
- Rungrassamee, W., Leelatanawit, R., Jiravanichpaisal, P., Klinbunga, S., & Karoonuthaisiri, N. (2010). Expression and distribution of three heat shock protein genes under heat shock stress and under exposure to *Vibrio harveyi* in *Penaeus monodon*. Developmental & Comparative Immunology, 34(10), 1082- 1089.
- Setyobudi, E. K. O., Rohmah, I., Syarifah, R. F., Ramatia, L., Murwantoko, M., & Sari, D. W. K. (2019). Presence of Anisakis nematode larvae in Indian mackerel (*Rastrelliger* spp.) along the Indian Ocean southern coast of East Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 20(1), 313-319.
- Soewardi, K., Rachmawati, R., Affandi, R., & Bengen, D. G. (1995). Penelusuran Varietas Ikan Gurame, *Osphronemus goramy*, Lacepede, Berdasarkan Penampilan Karakter Luar (Fenotip). Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia, 3(2), 23-31.
- Sugiri, I.R. (2017) Efikasi Vaksin Protein Rekombinan ORF138 Koi Herpesvirus pada Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*) dengan Pemberian Dosis Berbeda. (Skripsi, Program Studi Budidaya Perikanan, Universitas Gadjah Mada).
- Sumino (2014) Pengembangan Metode Loop-Mediated Isothermal Amplification untuk Deteksi Megalocytivirus pada Ikan Kerapu. (Tesis, Program Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada).
- Sudthongkong, C., Miyata, M., & Miyazaki, T. (2002). Viral DNA sequences of genes encoding the ATPase and the major capsid protein of tropical iridovirus isolates which are pathogenic to fishes in Japan, South China Sea and Southeast Asian countries. Archives of virology, 147, 2089-2109.

- SyakurI, H. (2007). Analisis variasi genetik Betanodavirus penyebab Viral Nervous Necrosis pada Kerapu berdasarkan sekuen gen protein selubung (Tesis, Program Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada).
- Triyitno & Murwantoko (2020). Quorum Sensing Inhibition Activity of Water Extract of Rhizome Herbs on *Aeromonas hydrophila*. In E3S Web ofConferences (Vol. 147, p. 01012). EDP Sciences.
- Utami, A. M. R., Murwantoko, Istiqomah, I., Triyanto, T., & Setyobudi, E. (2022). *Hysterothylacium amoyense* (Nematoda: Raphidascarididae) infecting *Trichiurus lepturus* (Scombriformes: Trichiuridae) from Demak, Central Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 23(2), 1030-1037
- Wakchaure, R., Ganguly, S., Qadri, K., Praveen, P. K., & Mahajan, T. (2015). Importance of transgenic fish to global aquaculture: a review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6(04), 8-11.
- Walker, P. J., Siddell, S. G., Lefkowitz, E. J., Mushegian, A. R., Adriaenssens, E. M., Alfenas-Zerbini, P., ... & Zerbini, F. M. (2021). Changes to virus taxonomy and to the International Code of Virus Classification and Nomenclature ratified by the International Committee on Taxonomy of Viruses. *Archives of Virology*, 166(9), 2633-2648.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in plant science*, 9(5), 244-252.
- Wang, Y., Hamid, N., Jia, P. P., & Pei, D. S. (2021). A comprehensive review on genetically modified fish: Key techniques, applications and future prospects. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1635-1660.
- Way, K., & Dixon, P. (2007) Koi Herpes Virus—An Update From The United Kingdom *Aquaculture health* 21.
- Wijayanti, E., Istiqomah, I., & Murwantoko (2021). Record of Copepod Parasite (Pennellidae) in Buccal Cavity and Gill Arch of Cultured Groupers, *Epinephelus* spp. in Batam, Indonesia. *Asian Fisheries Science*. 34,336–343
- Wijayanti, K. A. N., Istiqomah, I., & Murwantoko (2021). Bacterial abundance and community composition in green, brown and red water from intensive catfish (*Clarias* sp.) culture ponds in Yogyakarta, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(9), 3677-3684
- Winiarsi, F. (2016). Kloning dan Ekspresi Gen Homolog ORF 007L Infectious Spleen and Kidney Necrosis Virus Serta Purifikasi Proteinnya Sebagai Kandidat Vaksin (Tesis, Program Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada).
- Yang, T. B., Chen, A. P., Chen, W., Li, A. X., & Yan, Y. Y. (2007). Parasitic diseases of cultured marine finfishes and their surveillance in China. *Parassitologia*, 49(3), 193-199

- Yang, B., Wang, Y., & Qian, P. Y. (2016). Sensitivity and correlation of hypervariable regions in 16S rRNA genes in phylogenetic analysis. *BMC bioinformatics*, 17(1), 1-8.
- Yasa, N. S., Isnansetyo, A., Handayani, N. S. N., Triastutik, G., & Anshory, L. (2019). Physiological stress response and gene expression of the HSP70 and HSP90 in abalone *Haliotis squamata* under thermal shock. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 12(5), 1672-1687
- Yasa, N. S., Anshory, L., Triastutik, G., Murwantoko, Isnansetyo, A., & Lusiana, L. (2019b). Short-term response in molecular and biochemical adaptation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae reared in a biofloc system. *Aquacultura Indonesiana*, 20(2), 24-36.
- Yasa, N. S., Murwantoko, Handayani, N. S., Triastutik, G., & Anshory, L. (2020). Physiological, biochemical and HSP70 and HSP90 gene expression profiles of tropical abalone *Haliotis squamata* in response to *Vibrio alginolyticus* infection. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 25(1), 12-20.

BIODATA

Nama : Prof. Dr. Ir. Murwantoko, M,Si.
Tempat, Tanggal lahir: Sleman, 1 Oktober 1969
NIP : 196910011995121001
Pangkat/Gol : Pembina Utama Muda / IVc
Jabatan Fungsional : Guru Besar
Alamat Rumah : Kronggahan II , Trihanggo, Gamping, Sleman
Alamat Kantor : Departemen Perikanan, Fakultas Pertanian UGM,
Jl. Flora BUlaksumur, Yogyakarta
Alamat e-mail : murwantoko@ugm.ac.id
Program Studi : Akuakultur

Keluarga

1. Maharsi Prehastuti, S.T., M.Pd. (Isteri)
2. Hanifah Dzakiyah, S. Ars (Anak)
3. Muhammad Iyas Abdul Alim, S.T. (Anak)
4. Shofarina Adilah, S.Gz. (Anak)
5. Ismail Abdurrahim (Anak)
6. Farah Abida (Anak)

Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Perguruan Tinggi	UGM	UGM	Nara Institute of Science and Technology, Japan
Bidang Ilmu	Perikanan	Bioteknologi	Molecular Biology
Tahun Masuk - lulus	1987-1993	1994-1997	2000-2004
Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	Penggunaan Benzocaine dalam pengangkutan benih lele dumbo (<i>Clarias gariepnis</i>)	Isolasi dan Karakterisasi Partial Biomolekul Beberapa Virus Penyakit Udang	Analysis of HtrA genes in animals: Identification of HtrA genes from fruit fly and zebrafish,
Nama Pembimbing/ Promotor	Prof.Dr.Ir. Kamiso H.N., M.Sc Dr.Ir. Triyanto, M.Si	Prof.Dr.Ir. Kamiso H.N., M.Sc. Prof..Dr. Ir. Y.B. Sumardiyono	Prof. Dr. Masashi Kawaichi, M.D.

Publikasi 5 tahun terakhir

1	Murwantoko, Wijayanti, E., Agustatik, S., Valianti, H., Yulanda, L. K., & Nukmah, N. L. F. (2022). Detection and Genotype Determination Of Lymphocystis Disease Virus from Orange Clownfish <i>Amphiprion percula</i> in Batam. <i>Indonesian Aquaculture Journal</i> , 17(2), 165-172.
2	Murwantoko, & Hayati, J. 2022. Record on Nematode <i>Tanqua tiara</i> Infection on Snakehead Fish <i>Channa striata</i> in South Kalimantan Indonesia. <i>Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan</i> 14 (2), 260-271
3	Ayun, N. Q., Syarifah, R. F., & Setyobudi, E. (2022). Anisakis Infection of Belanger's Croaker (<i>Johnius belangerii</i> Cuvier 1830) at The Indian Ocean Coast of Yogyakarta, Indonesia. <i>Jordan Journal of Biological Sciences</i> , 15(1). 29–36
4	Utami, A. M. R., Murwantoko, Istiqomah, I., Triyanto, T., & Setyobudi, E. (2022). <i>Hysterothylacium amoyense</i> (Nematoda: Raphidascarididae) infecting <i>Trichiurus lepturus</i> (Scombriformes: Trichiuridae) from Demak, Central Java, Indonesia. <i>Biodiversitas Journal of Biological Diversity</i> , 23(2), 1030-1037
5	Aryantojati, A.F., Murwatoko, & Setyobudi, E. (2022). Morphometric and Meristic Characterization of Hairtails <i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus, 1758 (Scombriformes: Trichiuridae) from the Northern Coast of Java, Indonesia. <i>Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan</i> 14, (1)
6	Samadan, G. M. (2022). The effectiveness of sand and red tilapia rearing in absorbing nitrogen and phosphorus of liquid waste from <i>Litopenaeus vannamei</i> culture. <i>Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation</i> , 15(1), 563-572.
7	Yasa, N. S., Anshory, L., Handayani, N. S., Isnansetyo, A., & Murwantoko, M. (2021). Pengaruh Paparan Chlorine terhadap Stress Fisiologis dan Ekspresi Gen HSP70 dan HSP90 pada Abalon (<i>Haliotis squamata</i>). <i>Buletin Oseanografi Marina</i> , 10(3), 223-232.
8	Wijayanti, E., Istiqomah, I., & Murwantoko (2021). Record of Copepod Parasite (Pennellidae) in Buccal Cavity and Gill Arch of Cultured Groupers, <i>Epinephelus</i> spp. in Batam, Indonesia. <i>Asian Fisheries Science</i> . 34,336–343
9	Adharini, R. I., Murwantoko, Probosunu, N., Setiawan, R. Y., & Satriyo, T. B. (2021). The effectiveness of seaweeds as biofilter for reducing wastewater nutrient and preventing water pollution from hybrid grouper culture. <i>Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan</i> , 13(2), 133-143.
10	Wijayanti, K. A. N., Istiqomah, I., & Murwantoko (2021). Bacterial abundance and community composition in green, brown and red water from intensive catfish (<i>Clarias</i> sp.) culture ponds in Yogyakarta, Indonesia. <i>Biodiversitas Journal of Biological Diversity</i> , 22(9).

11	Herlambang, A., Murwantoko, & Istiqomah, I. (2021). Dynamic change in bacterial communities in the integrated rice–fish farming system in Sleman, Yogyakarta, Indonesia. <i>Aquaculture Research</i> , 52(11), 5566-5578.
12	Fusianto, C., Hick, P. , M.urwantoko, Herlambang, A., Whittington, R. J., & Becker, J. A. (2021). Outbreak investigation attributes Infectious spleen and kidney necrosis virus as a necessary cause of a mortality epidemic in farmed grouper (<i>Epinephelus</i> spp.) in Bali, Indonesia. <i>Aquaculture Reports</i> , 20, 100723.
13	Ayun, N. Q., Syarifah, R. F., & Setyobudi, E. (2022). Anisakis Infection of Belanger’s Croaker (<i>Johnius Belangerii</i> Cuvier 1830) at The Indian Ocean Coast of Yogyakarta, Indonesia. <i>Jordan Journal of Biological Sciences</i> , 15(1). 29–36
14	Wijayanti, E., Hendrianto, Istiqomah , I., & Murwantoko. (2021) Prevalence, Intensity and Histopathology of Copepodic Parasite Infection on the Groupers in Batam Waters, Riau Islands, Indonesia. <i>Aquacultura Indonesiana</i> 22(2): 1-9.
15	Kusumanigrum, R. C., Alfiatunnisa, N., Murwantoko, & Setyobudi, E. (2021). Karakter Morfometrik dan Meristik Ikan Layang (<i>Decapterus macrosoma</i> Bleeker, 1851) di Pantai Selatan Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. <i>Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada</i> , 23(1), 1-7.
16	Yasa, N. S., Murwantoko, Handayani, N. S., Triastutik, G., & Anshory, L. (2020). Physiological, biochemical and HSP70 and HSP90 gene expression profiles of tropical abalone <i>Haliotis squamata</i> in response to <i>Vibrio alginolyticus</i> infection. <i>Indonesian Journal of Biotechnology</i> , 25(1), 12-20
17	Istiqomah, I., & Isnansetyo, A. (2020). Review vibriosis management in Indonesian marine fish farming. In <i>E3S Web of Conferences</i> 147, p. 01001. EDP Sciences.
18	Triyitno & Murwantoko (2020). Quorum Sensing Inhibition Activity of Water Extract of Rhizome Herbs on <i>Aeromonas hydrophila</i> . In <i>E3S Web of Conferences</i> 147, p. 01012). EDP Sciences.
19	Yasa, N. S., Anshory, L., Triastutik, G., Murwantoko, Isnansetyo, A., & Lusiana, L. (2019b). Short-term response in molecular and biochemical adaptation of white shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) postlarvae reared in a biofloc system. <i>Aquacultura Indonesiana</i> , 20(2), 24-36.
20	Lusiatuti, A. M., Taukhid, Maskur, Murwantoko, Prayitno, S. B., Sugiani, D., & Caruso, D. (2020). Building and improving the capacity of fish and environmental health management strategy in Indonesia. In <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i> 521 (1) p. 012016). IOP Publishing
21	Yudiati, E., Isnansetyo, A., & Handayani, C. R. (2019). Alginate from <i>Sargassum siliquosum</i> simultaneously stimulates innate immunity, upregulates immune genes, and enhances resistance of Pacific white shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) against white spot syndrome virus (WSSV). <i>Marine Biotechnology</i> , 21(4), 503-514.

22	Setyobudi, E. , Rohmah, I., Syarifah, R. F., Ramatia, L., Murwantoko, & Sari, D. W. K. (2019). Presence of Anisakis nematode larvae in Indian mackerel (<i>Rastrelliger</i> spp.) along the Indian Ocean southern coast of East Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 20(1), 313-319.
23	Murwantoko, Diniarti, E., & Triyanto. (2019). Isolation, Characterization and pathogenicity of <i>Edwardsiella tarda</i> a causative disease on freshwater fish in Yogyakarta. Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada, 21(1), 41-45.
24	Fauziah, S., Efendi, F., Nugraheni, P. S., Murwantoko, Budhijanto, B., & Budhijanto, W. (2019, March). Kinetic study of fish decay inhibition by application of modified chitosan as preservative agent. In AIP Conference Proceedings 2085 (1) p. 020011). AIP Publishing LLC.
25	Isnansetyo, A., & Widada, J. (2018). The significance of water quality parameters on the diversity of ammonia-oxidizing bacteria in the water surface of Musi river, Indonesia. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation, 11(6), 1908-1918.
26	Setyawan, A., Isnansetyo, A., Murwantoko, Indarjulianto, S., & Handayani, C. R. (2018). Comparative immune response of dietary fucoidan from three Indonesian brown algae in white shrimp <i>Litopenaeus vannamei</i> . AACL Bioflux, 11(6), 1707-1723.
27	Melki, M., Isnansetyo, A., Widada, J., & Murwantoko. (2018). Distribution of Ammonium-Oxidizing Bacteria in Sediment with Relation to Water Quality at the Musi River, Indonesia (Publikasi). Hayati Journal of Bioscience, 25(4), 198-205.
28	Murwantoko, Negoro, S. L. C., Isnansetyo, A., & Zafran, Z. (2018). Identification of marine leech and assessment of its prevalence and intensity on cultured hybrid groupers (<i>Epinephelus</i> sp.). Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 19(5), 1798-1804.
29	Triwijayani, A. U., & Puspita, I. D. (2018). Identification of chitinolytic bacteria isolated from shrimp pond sediment and characterization of their chitinase encoding gene. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 139(1) p. 012051). IOP Publishing.
30	Murwantoko, Sari, D. W. K., Handayani, C. R., & Whittington, R. J. (2018). Genotype determination of megalocytivirus from Indonesian Marine Fishes. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 19(5), 1730-1736.
31	Murwantoko, SL Condro, A Isnansetyo, Z Zafran. (2018). Life Cycle of Marine Leech from Cultured Cantik Hybrid Grouper (<i>Ephinephelus</i> sp.) and Their Susceptibility Against Chemicals. Aquacultura Indonesiana 18 (2), 72-76
32	Habibie, S. A., & Djumanto, M. (2018). Polikromatik, dimorfisme seksual, dan redeskripsi spesies ikan red devil <i>Amphilophus amarillo</i> [Stauffer & McKaye, 2002] di Waduk Sermo Yogyakarta. J Iktiologi Indones, 18(1), 69-86.

Buku

No	Judul Buku
1	Ign Hardaningsih, Murwantoko, Senny Helmiaty. 2012. 7 Rezeki Budi Daya Gurami. Kanisius. ISBN 9789792129649. 95 hal.
2	Indah Istiqomah, Murwantoko, dan Alim Isnansetyo. 2020. Panduan Praktis Pengelolaan Kesehatan Ikan di Saat Pandemi COVID-19 dan Tatanan Kehidupan Baru. Dalam :MERANGKAI GAGASAN DAN INOVASI: Merespon Pandemi Covid-19 untuk Kemajuan Perikanan dan Kelautan. Smart Media Utama-Departemen Perikanan UGM. Hal : 88 – 108 (Book Chapter)
3	Amir Husni, Indun Dewi Puspita, Murwantoko, Siti Ari Budhiyanti.2020. Gizi Ikani untuk Peningkatan Imunitas Tubuh Manusia. Dalam :MERANGKAI GAGASAN DAN INOVASI: Merespon Pandemi Covid-19 untuk Kemajuan Perikanan dan Kelautan. Smart Media Utama-Departemen Perikanan UGM. Hal : Hal : 205 – 236 (Book Chapter)

Riwayat Pekerjaan di UGM

No	Jabatan	Tahun
1.	Dosen di Departemen Perikanan, Fak, Pertanian UGM	1995 - ...
2.	Kepala Laboratorium Hidrobiologi	2006
3.	Sekretaris Program Studi Budidaya Perikanan	2006 - 2007
4.	Kepala Laboratorium Mikrobiologi Perikanan	2006 – 2007
5.	Sekretaris Jurusan Perikanan	2007 - 2011
6	Kepala Laboratorium Hama Penyakit Ikan	2009 - 2016
7	Ketua Program Studi Budidaya Perikanan	2013 - 2016
8	Ketua Departemen Perikanan	2016 - 2020
9	Kepala Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan	2021 - sekarang

Aktivitas Internasional

No	Aktivitas	Tempat, waktu
1.	Participant of Workshop Training on Control of nodaviral disease in tropical marine finfish hatcheries: enhanced biosecurity through the application of contemporary biotechnology, epidemiology and pathobiology. Fac. of Veterinary Science, The University of Sydney	Sydney, 5 – 13 September 2009
2	Visiting Researcher at Farm Animal Health, Fac. of Veterinary Science, The University of Sydney, Australia	Sydney, 29 October – 8 November 2009

3	Visiting Researcher at Farm Animal Health, Fac. of Veterinary Science, The University of Sydney, Australia	Sydney, 10 October – 10 November 2010
4	Visiting Researcher at Australian Animal Health Laboratory CSRIO at Geelong, Victoria, Australia	Geelong, 18 February – 2 April 2011
5	Visiting Researcher at Gene Function in Animals Lab, Nara Institute of Science and Technology, Japan	Nara, Japan 9 June – 8 July 2011
6	Visiting Researcher at Gene Function in Animals Lab, Nara Institute of Science and Technology, Japan	Nara, Japan 9 September – 8 October 2011
7	Visiting Researcher at Gene Function in Animals Lab, Nara Institute of Science and Technology, Japan	Nara, Japan 9 February – 7 March 2012
8	Researcher Coordinator on ACIAR Project FIS/2010/101 Improving fish health management and production protocols in marine finfish aquaculture in Indonesia and Australia	2013 - 2017
9	National Consultant. Development of Preventive Aquatic Animal Health Protection Plan and Enhancing Emergency Response Capacities to Shrimp Disease Outbreaks in Indonesia. FAO. TCP/INS/3402.	2013-2015
10	Workshop on: Data Analysis and Scientific Writing. ACIAR	Gondol, 24–26 January 2017
11	Workshop on analyse project samples for PCR and histopathology	10-16 Mei 2017 University of Sydney
12	Final Project Meeting ACIAR FIS 2010/101 “Improving fish health management and production protocols in marine finfish aquaculture in Indonesia and Australia”	15-16 May 2017, di Camden, New South Wales, Australia.
13	Workshop “Curriculum Development for the Sustainable seafood and Nutrition Security (Ref. SSN#585924)” funded by EU Erasmus+ program	February 11-15, 2019, Institute of Aquaculture, University of Stirling UK
14	Erasmus+ KA107 International Credit Mobility Programme Institute of Biotechnology and Biomedicine UAB	June 17-21, 2019 University Autonomus Barcelona