

**PERKEMBANGAN DAN INOVASI ILMU STRUKTUR DAN
PERKEMBANGAN HEWAN AKUATIK DALAM
KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM DAN KETAHANAN
PANGAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Struktur dan Perkembangan Hewan Akuatik
pada Fakultas Biologi
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 26 Juni 2025**

**Oleh:
Prof. Dr. Bambang Retnoaji, M.Sc.**

Yang terhormat,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
Mada,
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
Para Dekan dan Wakil Dekan, Direktur, dan Kepala Pusat Studi di
Lingkungan Universitas Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas Biologi Universitas
Gadjah Mada,
Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada,
Rekan-rekan dosen dan seluruh civitas akademika Universitas Gadjah
Mada,
Tam undangan, sanak keluarga yang saya cintai serta hadirin sekalian
yang berbahagia.

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Selamat pagi, salam sejahtera bagi kita semua.

Marilah kita panjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga kita dapat hadir di Balai Senat ini. Suatu kehormatan bagi saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan sebagai Guru Besar dalam bidang Struktur dan Perkembangan Hewan Akuatik pada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada dengan judul **Perkembangan dan Inovasi Ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan Akuatik dalam Konservasi Sumber Daya Alam dan Ketahanan Pangan**. Pengukuhan ini bukan sekadar capaian akademik pribadi, tetapi juga sebuah amanah yang menuntut dedikasi lebih besar dalam pengembangan ilmu pengetahuan serta kontribusi nyata bagi masyarakat dan bangsa.

1. Latar Belakang Tema

Hadirin yang saya hormati,

Pidato ini berfokus pada inovasi dalam ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan akuatik yang berbasis pada kekayaan hayati Indonesia, dalam kerangka pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Tema utama yang diangkat mencakup pengembangan ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan (SPH) melalui pendekatan mikroskopi, ultrastruktur, hingga molekuler. Kemajuan dalam bidang ini telah memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap struktur jaringan dan organ hewan, salah satunya dalam hubungannya dengan bioprospeksi keanekaragaman hayati Indonesia yang sangat kaya dan unik.

Dalam kerangka bioprospeksi, keanekaragaman hayati memiliki peran strategis dalam mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya pada ketahanan pangan (SDG 2), kelestarian kehidupan bawah air (SDG 14), dan pengembangan riset biomedis yang berkontribusi terhadap kesehatan masyarakat (SDG 3). Namun demikian, keanekaragaman hayati menghadapi tantangan serius, seperti degradasi lingkungan, eksploitasi berlebihan, serta dampak perubahan iklim yang mengancam kelestarian berbagai spesies, termasuk ikan air tawar. Data menunjukkan bahwa dalam satu dekade terakhir terjadi penurunan populasi signifikan pada berbagai spesies ikan air tawar di berbagai belahan dunia. Oleh karena itu, inovasi berbasis riset menjadi sangat penting, baik untuk upaya konservasi, pengembangan budidaya berkelanjutan, maupun eksplorasi potensi biomedis dari spesies ikan lokal (Retnoaji, 2023).

Dalam konteks tersebut, ikan wader pari (*Rasbora lateristriata*) menjadi fokus utama penelitian saya karena potensinya yang besar untuk dikembangkan sebagai hewan model dalam penelitian, budidaya berkelanjutan, aplikasi medis, serta konservasi spesies lokal. Sebagai ikan endemik yang tersebar di wilayah Jawa, Bali, Sumatra, dan Kalimantan, wader pari memiliki nilai ekologis sebagai indikator kualitas air serta nilai ekonomis sebagai sumber protein hewani lokal.

Prospek pemanfaatan ikan lokal wader pari sebagai hewan model dalam ilmu SPH, sangatlah besar. Spesies ini memiliki potensi untuk memperkaya kurikulum pendidikan tinggi berbasis biodiversitas lokal

Indonesia. Integrasi Tri Dharma Perguruan Tinggi dalam pengembangan potensi ikan lokal ini tidak hanya berkontribusi pada kemajuan ilmu SPH, tetapi juga memperkuat upaya konservasi biodiversitas, ketahanan pangan berkelanjutan, serta pengembangan riset biomedis berbasis ikan lokal. Dengan pendekatan yang kolaboratif dan transdisipliner, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemimpin dalam inovasi ilmu biologi perkembangan yang berbasis pada kekayaan hayati lokal, sekaligus menghasilkan manfaat nyata bagi masyarakat dan lingkungan.

Berbagai studi dan riset menunjukkan bahwa perkembangan embrio ikan wader pari memiliki kemiripan dengan *zebrafish* dan medaka: dua jenis ikan yang telah lama digunakan secara luas sebagai hewan model dalam penelitian biomedis dan toksikologi lingkungan (Retnoaji, 2023). Wader pari memiliki karakteristik seperti embrio transparan, siklus hidup yang singkat, serta laju perkembangan yang cepat, sehingga ikan wader pari sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai hewan model asli Indonesia sebagai contoh pada riset bioprospeksi senyawa bioaktif dari tanaman obat asli Indonesia. **Sebagai akademisi dan peneliti, kita memiliki tanggung jawab moral dan ilmiah untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya hayati Indonesia, bukan semata-mata sebagai objek eksploitasi, melainkan sebagai sumber inspirasi, inovasi, dan solusi bagi tantangan global di bidang kesehatan, lingkungan, dan ketahanan pangan.**

2. Inovasi Ilmu Struktur Dan Perkembangan Hewan: Dari Mikroskopis, Ultrastruktur Hingga Pendekatan Molekuler

Hadirin yang saya hormati,

Penulis mulai mendalami teknik-teknik mikroskopi dan ultrastruktur saat mengikuti Ultra Structure and Electron Microscope Preparation Techniques Courses di University of Vienna, Austria. Selanjutnya, penulis memperdalam penggunaan model akuatik selama menempuh pendidikan program magister di Institute of Biological Sciences, College of Arts and Sciences, University of the Philippines at Los Baños. Penggunaan hewan model ikan *zebrafish* mulai dilakukan saat penulis menempuh program doktor di Nara Institute of Science and

Technology, Jepang, dengan judul disertasi *The Role of Retinoic Acid Signalling at the Early Stage of Zebrafish Somitogenesis*. Selanjutnya, uraian mengenai inovasi ilmu struktur dan perkembangan hewan dari pendekatan mikroskopis, ultrastruktur, hingga molekuler akan saya sampaikan sebagai berikut.

Ilmu SPH Akuatik, merupakan salah satu pilar utama dalam memahami kompleksitas kehidupan, khususnya pada organisme akuatik yang memiliki beragam strategi adaptasi dan dinamika perkembangan. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, kajian SPH telah mengalami transformasi signifikan: berawal dari pengamatan mikroskopis sederhana, berkembang melalui analisis ultrastruktur sel dengan mikroskop elektron, hingga kini memasuki era pendekatan molekuler yang memungkinkan eksplorasi mekanisme genetik dan sinyal seluler dalam embriogenesis. Inovasi-inovasi ini tidak hanya memperluas cakupan dan kedalaman pemahaman terhadap karakter-karakter morfologis dan fisiologis hewan, tetapi juga membuka jalan bagi aplikasi lintas disiplin, seperti dalam bidang biomedis, toksikologi lingkungan, dan konservasi sumber daya hayati. Dengan mengintegrasikan berbagai pendekatan ini, ilmu SPH terus bergerak maju sebagai ilmu strategis yang berperan penting dalam menjawab tantangan ilmiah dan aplikatif di masa depan.

a. Era Mikroskopi: Fondasi Studi Struktur Hewan

Perkembangan ilmu struktur hewan dimulai dengan penggunaan mikroskop cahaya yang memungkinkan ilmuwan mengamati sel dan jaringan. Pada abad ke-17, Antonie van Leeuwenhoek dan Robert Hooke memperkenalkan konsep sel sebagai unit dasar kehidupan (Hooke, 1665; Leeuwenhoek, 1674). Robert Hooke, dalam bukunya *Micrographia* (1665), pertama kali mendeskripsikan struktur sel dari irisan gabus menggunakan mikroskop buatannya. Sementara itu, Antonie van Leeuwenhoek mengembangkan mikroskop dengan lensa tunggal yang mampu memperbesar hingga 270 kali, memungkinkan pengamatan mikroorganisme dan struktur seluler dengan detail lebih tinggi (Dobell, 1932).

Pada abad ke-19, kemajuan dalam teknik pewarnaan jaringan berperan penting dalam pemahaman struktur jaringan hewan. Hermann von Helmholtz dan Rudolf Virchow mengembangkan teori sel sebagai dasar fisiologi dan patologi (Virchow, 1858). Berbagai teknik pewarnaan, seperti hematoxilin-eosin (HE), perak nitrat, dan metode Weigert, mulai digunakan untuk membedakan komponen seluler dan jaringan dengan lebih jelas (Bancroft & Gamble, 2008).

Seiring perkembangan teknik histologis, metode pemrosesan jaringan dengan parafin mulai diterapkan secara luas pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20. Proses ini mencakup fiksasi jaringan menggunakan formalin atau alkohol, dehidrasi bertahap, infiltrasi dengan parafin cair, serta pemotongan dengan mikrotom. Teknik ini tetap menjadi standar dalam histologi modern karena kemampuannya menghasilkan irisan jaringan yang tipis dan terawat dengan baik, memungkinkan analisis struktur jaringan yang lebih akurat (Bancroft & Gamble, 2008). Pewarnaan histologis juga terus berkembang dengan berbagai metode spesifik, seperti Masson's Trichrome untuk jaringan ikat, Periodic Acid-Schiff (PAS) untuk mendeteksi karbohidrat, serta imunohistokimia untuk mengidentifikasi protein tertentu dalam jaringan (Suvarna et al., 2018).

Memasuki abad ke-20, inovasi dalam mikroskopis semakin memperluas cakupan studi struktur seluler. Frits Zernike mengembangkan mikroskop fase kontras pada tahun 1934, memungkinkan pengamatan sel hidup tanpa pewarnaan yang dapat merusak struktur biologisnya. Sementara itu, Albert Coons pada tahun 1941 memperkenalkan mikroskop fluoresensi, yang menggunakan antibodi berlabel *fluorescent* untuk mendeteksi molekul spesifik dalam jaringan (Pawley, 2006). Kedua inovasi ini memberikan wawasan baru dalam studi perkembangan hewan dan analisis histologi.

Di akhir abad ke-20, kemajuan dalam teknologi confocal laser scanning microscope (CLSM) semakin meningkatkan resolusi dan kontras dalam studi histologi dan embriologi (White et al., 1987). Teknik ini memungkinkan pemetaan tiga dimensi jaringan biologis dengan presisi tinggi, membuka peluang baru dalam penelitian perkembangan hewan.

Salah satu perkembangan paling signifikan dalam mikroskopi modern adalah teknik *time-lapse imaging*, yang memungkinkan observasi dinamis proses perkembangan hewan secara *real-time*. Teknik ini banyak digunakan dalam studi embriologi, terutama pada model hewan seperti *Danio rerio* (zebrafish) dan *Xenopus laevis*, untuk mengamati pembelahan sel, migrasi sel, serta interaksi antar jaringan dalam kondisi hidup (Keller et al., 2008). Ketika dikombinasikan dengan teknik fluoresensi, seperti *Green Fluorescent Protein* (GFP), *time-lapse imaging* memungkinkan pelacakan ekspresi gen spesifik selama embriogenesis, memberikan wawasan lebih dalam tentang mekanisme perkembangan (Saka & Smith, 2001).

b. Ultrastruktur: Revolusi Mikroskop Elektron

Kemajuan besar dalam studi struktur hewan terjadi dengan diperkenalkannya mikroskop elektron pada abad ke-20. Mikroskop elektron memanfaatkan berkas elektron sebagai sumber iluminasi, memungkinkan resolusi yang jauh lebih tinggi dibandingkan mikroskop cahaya konvensional. Teknologi ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang ultrastruktur sel, termasuk interaksi organel dalam regulasi perkembangan dan diferensiasi sel.

Dua jenis utama mikroskop elektron yang paling berpengaruh adalah mikroskop elektron transmisi (TEM) dan mikroskop elektron pemindaian (SEM). TEM, yang pertama kali dikembangkan oleh Ernst Ruska pada tahun 1931, memungkinkan pengamatan struktur internal sel dengan ketajaman resolusi hingga level nanometer. Dengan teknik ini, ilmuwan dapat mengamati organel seperti mitokondria, retikulum endoplasma, kompleks Golgi, dan ribosom dengan detail tinggi. TEM juga memainkan peran kunci dalam mengungkap struktur kromatin dan proses pembentukan vesikel dalam sel (Hall, 1966).

Sementara itu, SEM digunakan untuk menghasilkan gambaran tiga dimensi dari permukaan sel dan jaringan. Dengan cara kerja yang berbeda dari TEM, SEM memindai spesimen dengan berkas elektron dan mendeteksi elektron sekunder yang dipantulkan dari permukaan sampel. Teknik ini sangat berguna dalam mempelajari struktur

eksternal sel, mikrostruktur jaringan, serta interaksi seluler dalam berbagai sistem biologis (Goldstein et al., 2003).

Selain TEM dan SEM, perkembangan lebih lanjut dalam mikroskop elektron telah menghasilkan teknik-teknik baru, seperti mikroskop kriogenik elektron (*Cryo-EM*) dan mikroskop tomografi elektron (ET). *Cryo-EM* memungkinkan pengamatan sampel biologis dalam keadaan beku, menjaga struktur alaminya tanpa perlu fiksasi kimia yang dapat mengubah ultrastruktur sel. Teknik ini telah digunakan secara luas dalam penelitian struktur protein dan interaksi molekuler dalam sel (Dubochet et al., 2017). Sementara itu, ET memungkinkan rekonstruksi tiga dimensi dari struktur subseluler dengan ketajaman tinggi, membantu dalam analisis kompleksitas organel dan dinamika seluler.

Penerapan mikroskop elektron dalam studi perkembangan hewan juga sangat signifikan. Dalam embriologi, TEM telah digunakan untuk mengamati perkembangan awal embrio pada berbagai spesies, termasuk interaksi antara trofoblas dan endometrium selama implantasi pada mamalia. Pada organisme model akuatik, seperti *Danio rerio* (*zebrafish*), TEM telah mengungkap detail ultrastruktur sistem saraf yang sedang berkembang serta perubahan ultrastruktur otot selama embriogenesis (Scholpp et al., 2009). SEM, di sisi lain, telah digunakan untuk mengkaji perkembangan morfologis larva ikan, termasuk struktur permukaan insang dan sistem sensorik yang berperan dalam respons lingkungan.

Secara keseluruhan, revolusi mikroskop elektron telah membawa pemahaman yang lebih dalam tentang organisasi seluler dan peran ultrastruktur dalam perkembangan hewan. Dengan terus berkembangnya teknologi mikroskopis, penelitian di bidang biologi perkembangan dan histologi semakin mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan kompleks tentang dinamika seluler dan jaringan.

c. Pendekatan Molekuler dalam Struktur dan Perkembangan Hewan

Dengan berkembangnya biologi molekuler, studi SPH mengalami lompatan signifikan. Pendekatan molekuler memungkinkan analisis lebih mendalam tentang mekanisme yang

mengatur pertumbuhan, diferensiasi, dan spesifikasi jaringan selama embriogenesis. Berbagai teknik modern telah diterapkan untuk mempelajari ekspresi gen serta interaksi molekuler dalam perkembangan hewan.

Salah satu teknik utama dalam pendekatan molekuler adalah hibridisasi *in situ* (ISH), yang memungkinkan deteksi lokasi ekspresi gen secara langsung dalam jaringan embrio atau organisme. Teknik ini telah digunakan secara luas dalam studi embriologi untuk mengungkap pola ekspresi gen yang terlibat dalam pembentukan sumbu tubuh, organogenesis, dan spesifikasi seluler (Nieto et al., 1996). ISH dengan *probe* RNA berlabel *fluorescent* (FISH) telah meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas deteksi ekspresi gen, terutama dalam model organisme seperti *Drosophila melanogaster* dan *Danio rerio*.

Teknik reaksi rantai polimerase (PCR) dan turunannya, seperti *real-time* PCR (qPCR) dan RT-PCR, juga memainkan peran penting dalam studi perkembangan hewan. Dengan metode ini, ekspresi gen spesifik dapat dikuantifikasi dalam berbagai tahap perkembangan, memberikan wawasan tentang perubahan dinamis dalam regulasi genetik selama embriogenesis (Heid et al., 1996). Teknologi sekuensing RNA (RNA-Seq) telah lebih lanjut memperluas analisis transkriptomik, memungkinkan identifikasi jalur genetik yang terlibat dalam diferensiasi jaringan dan perkembangan organ (Wang et al., 2009).

Imunohistokimia (IHC) dan imunofluoresensi (IF) adalah teknik lain yang banyak digunakan dalam studi molekuler SPH. Dengan memanfaatkan antibodi spesifik, protein yang berperan dalam embriogenesis dapat diidentifikasi dan divisualisasikan dalam jaringan. Teknik ini sangat penting dalam memahami distribusi faktor pertumbuhan, protein matriks ekstraseluler, serta kompleks sitoskeletal yang berperan dalam morfogenesis (Harlow & Lane, 1988).

Di tingkat regulasi molekuler, identifikasi faktor transkripsi dan jalur sinyal utama telah memberikan pemahaman lebih dalam, tentang regulasi embriogenesis dan diferensiasi jaringan. Jalur sinyal seperti Wnt, Hedgehog, Notch, BMP, dan FGF diketahui memainkan peran

kunci dalam pola perkembangan embrio dan spesifikasi jaringan (Logan & Nusse, 2004; Briscoe & Théron, 2013). Jalur Wnt, misalnya, berperan dalam spesifikasi sumbu tubuh dan pembentukan ekstremitas, sementara jalur Hedgehog terlibat dalam segmentasi dan pola diferensiasi jaringan saraf. Jalur *Notch* berperan dalam spesifikasi sel progenitor, dan BMP berkontribusi dalam diferensiasi mesodermal serta osteogenesis (Wu et al., 2016).

Penerapan pendekatan molekuler dalam model hewan akuatik juga mengalami kemajuan pesat. Studi pada *Danio rerio* telah membantu mengungkap mekanisme diferensiasi otot dan perkembangan sistem saraf, sementara penelitian pada *Xenopus laevis* telah memberikan wawasan tentang induksi mesodermal dan spesifikasi jaringan selama gastrulasi (Harland & Gerhart, 1997). Dengan berkembangnya teknologi CRISPR-Cas9, manipulasi genetik pada model hewan semakin memungkinkan untuk menguji fungsi gen tertentu dalam perkembangan, membuka peluang baru dalam penelitian embriologi dan terapi regeneratif (Doudna & Charpentier, 2014).

Salah satu kemajuan terbaru dalam pendekatan molekuler adalah *Next-Generation Sequencing* (NGS), yang memungkinkan analisis ekspresi gen secara lebih komprehensif dan mendalam. Teknologi NGS, seperti Illumina, PacBio, dan Oxford Nanopore, telah merevolusi bidang genomik dan transkriptomik dengan memungkinkan analisis seluruh genom dan transkriptom dalam waktu singkat dan dengan akurasi tinggi (Mardis, 2008). Dalam studi perkembangan hewan, NGS digunakan untuk mengidentifikasi ekspresi gen diferensial selama embriogenesis, memahami interaksi jaringan pada tingkat molekuler, serta mengungkap regulasi epigenetik dalam perkembangan organisme (Wang et al., 2009). Dengan pendekatan ini, para ilmuwan dapat mengeksplorasi perubahan ekspresi gen dalam berbagai kondisi perkembangan, termasuk respons terhadap faktor lingkungan dan jalur sinyal yang berperan dalam spesifikasi jaringan.

Secara keseluruhan, pendekatan molekuler telah merevolusi pemahaman tentang SPH, memungkinkan eksplorasi mekanisme genetik dan sinyal seluler yang mendasari embriogenesis. Dengan

kemajuan teknologi seperti *single-cell transcriptomics* dan *spatial genomics*, penelitian pada masa depan akan semakin mampu mengungkap kompleksitas interaksi molekuler dalam skala yang lebih detail dan presisi.

Salah satu kontribusi penulis dalam bidang perkembangan molekuler diwujudkan melalui publikasi hasil penelitian pada jurnal internasional bereputasi, dengan judul *Retinoic Acid Controls Proper Head-to-Trunk Linkage in Zebrafish by Regulating an Anteroposterior Somitogenetic Rate Difference*. Penelitian ini merevisi pemahaman sebelumnya mengenai konsistensi waktu pembentukan somite pada ikan zebrafish, dengan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan laju pembentukan somite antara bagian anterior dan posterior yang diatur secara *spatiotemporal* oleh asam retinoat melalui pengaruhnya terhadap ekspresi gen *her1* dan represor transkripsi *rippl1*.

d. Teknologi CRISPR-Cas9 dalam Studi Genetik dan Perkembangan

Dengan adanya teknologi CRISPR-Cas9, studi mutasi genetik dapat dilakukan dengan presisi tinggi untuk mengeksplorasi fungsi gen dalam perkembangan. Sistem ini memungkinkan pengeditan genom secara spesifik dengan memotong DNA di lokasi target yang diinginkan, sehingga memungkinkan pembuatan model mutan untuk mempelajari efek kehilangan atau pengaktifan gen tertentu (Doudna dan Charpentier, 2014). Pada model hewan seperti *Danio rerio* dan *Xenopus laevis*, CRISPR-Cas9 telah digunakan untuk meneliti peran gen dalam perkembangan jantung, sistem saraf, serta pembentukan organ lainnya (Hwang et al., 2013).

e. Peran Hewan Model dalam Studi Perkembangan

Hewan model telah menjadi landasan penting dalam penelitian SPH, serta memiliki implikasi yang luas dalam bidang biomedis. Beberapa hewan model utama yang digunakan dalam studi perkembangan meliputi *Drosophila melanogaster*, *Xenopus laevis*, dan *Danio rerio*. Ketiga organisme model ini memberikan wawasan

mendalam mengenai regulasi genetik embriogenesis, diferensiasi sel, dan pembentukan jaringan.

1) *Drosophila melanogaster*

Sebagai organisme model dalam genetika perkembangan, lalat buah ini telah membantu mengidentifikasi jalur sinyal utama seperti Wnt, Hedgehog, dan Notch yang berperan penting dalam spesifikasi pola tubuh dan diferensiasi jaringan. Penelitian pada *Drosophila* juga berkontribusi dalam pemahaman mekanisme homeosis dan pengaturan ekspresi gen oleh faktor transkripsi (Lewis, 1978; Nüsslein-Volhard & Wieschaus, 1980).

2) *Xenopus laevis*

Katak Afrika ini banyak digunakan dalam studi embriologi klasik dan biologi perkembangan karena ukuran telurnya yang besar dan perkembangan embrionya yang cepat. Model ini telah membantu mengungkap mekanisme induksi mesodermal, spesifikasi aksial, serta regulasi sinyal BMP dan Wnt dalam perkembangan embrio (Harland & Gerhart, 1997).

3) *Danio rerio*

Ikan zebrafish merupakan salah satu model utama dalam penelitian biologi perkembangan dan biomedis karena embrionya yang transparan, memungkinkan pemantauan langsung terhadap perkembangan organ dan jaringan menggunakan teknik pencitraan canggih. Studi pada *Danio rerio* telah memberikan wawasan penting mengenai regenerasi jaringan dan mekanisme penyakit genetik (Lieschke & Currie, 2007).

f. Peran Hewan Model dalam Kedokteran Regeneratif dan Terapi Gen

Pemahaman tentang mekanisme perkembangan yang diperoleh dari model hewan telah membuka peluang besar dalam bidang kedokteran regeneratif dan terapi gen. Beberapa aplikasi utama meliputi:

- **Regenerasi Jaringan:** Studi pada *Danio rerio* menunjukkan bahwa ikan zebra memiliki kapasitas regenerasi jantung yang luar biasa, yang menjadi inspirasi dalam penelitian terapi regeneratif pada manusia (Poss et al., 2002). Penelitian ini berkontribusi dalam

pengembangan terapi berbasis sel punca untuk memperbaiki jaringan yang rusak akibat cedera atau penyakit degeneratif.

- **Pemodelan Penyakit Genetik:** Model hewan yang dimodifikasi dengan teknologi CRISPR-Cas9 memungkinkan simulasi berbagai penyakit manusia, seperti distrofi otot, kanker, dan gangguan *neurodegeneratif*. Dengan mempelajari mutasi genetik dalam model ini, ilmuwan dapat memahami mekanisme penyakit dan mengembangkan terapi yang lebih efektif (Jinek *et al.*, 2012).
- **Terapi Gen:** Studi perkembangan juga mendukung kemajuan dalam terapi gen untuk mengoreksi mutasi genetik yang menyebabkan penyakit. Pendekatan ini melibatkan penggunaan vektor virus atau sistem CRISPR untuk menggantikan atau memperbaiki gen yang rusak dalam sel pasien. Aplikasi terapi gen telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam pengobatan hemofilia, anemia sel sabit, dan gangguan imunodefisiensi (Maeder & Gersbach, 2016).

Dengan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, seperti biologi perkembangan, genetika, bioinformatika, dan kedokteran, penelitian tentang SPH terus memberikan kontribusi besar dalam memahami penyakit pada manusia serta menemukan solusi terapeutik yang inovatif, membuka era baru dalam penelitian biomedis dan kedokteran regeneratif.

3. Potensi Ikan Lokal Indonesia Sebagai Model Penelitian

Hadirin yang saya hormati,

Sejalan dengan kemajuan inovasi dalam bidang ilmu SPH, yang meliputi eksplorasi mikroskopi, ultrastruktur, hingga pendekatan molekuler, kebutuhan akan hewan model yang representatif dan relevan bagi riset biomedis dan biologi tropis menjadi semakin mendesak dan penting. Inovasi teknologi ini memerlukan sistem model biologis yang tidak hanya mudah diobservasi dan diteliti, tetapi juga memiliki siklus hidup yang singkat, kemampuan reproduksi tinggi, serta adaptif terhadap kondisi pemeliharaan laboratorium. Dalam konteks ini, perhatian global terhadap ikan sebagai hewan model terus meningkat, seiring dengan pembuktian ilmiah akan potensi dan keunikan karakteristik biologisnya.

Ikan menawarkan platform riset yang efisien dan fleksibel untuk menjawab berbagai persoalan dalam ilmu biomedis, toksikologi lingkungan, serta pengembangan bioteknologi pangan. Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki potensi besar untuk mengembangkan hewan model alternatif berbasis ikan lokal yang tidak hanya memiliki keunggulan biologis serupa, tetapi juga mencerminkan kondisi ekologis dan genetik khas wilayah tropis.

Salah satu spesies yang memiliki potensi besar adalah ikan wader pari (*Rasbora lateristriata*). Studi terbaru menunjukkan bahwa ikan ini memiliki struktur dan perkembangan embrio yang unik, yang dapat digunakan dalam penelitian biomedis, toksikologi, serta eksplorasi senyawa bioaktif dari sumber daya alam Indonesia (Retnoaji et al., 2023). Dibandingkan dengan zebrafish, ikan wader pari memiliki beberapa keunggulan utama, yaitu jumlah telur yang lebih banyak dalam satu siklus reproduksi, daya tahan yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan perairan tropis, serta biaya pemeliharaan yang lebih rendah dan lebih mudah (Retnoaji et al., 2023; Sutrisno & Wijaya, 2023).

a. Pengembangan Model Penelitian Berbasis Ikan Wader Pari

Dalam aspek pendidikan, pengembangan materi akademik berbasis biodiversitas lokal sangat penting untuk memperkaya kurikulum di bidang biologi perkembangan, histologi, embriologi, dan bioteknologi. *Rasbora lateristriata* adalah spesies ikan endemik Indonesia yang memiliki keunggulan biologis dan ekologis dibandingkan zebrafish.

Kajian terhadap ikan wader pari sebagai model hewan alternatif dapat digunakan guna memberikan pemahaman tentang mekanisme embriogenesis, perkembangan organ, serta interaksi sistem organ dalam hewan akuatik (Retnoaji, 2023). Studi embriologi terhadap ikan wader pari menunjukkan bahwa tahapan perkembangan embrionya terdiri dari fase zigot, pembelahan, blastula, gastrula, segmentasi, hingga penetasan, dengan pembentukan jantung yang dapat diamati sejak 20 jam pasca-fertilisasi.

Secara fisiologis, wader pari diperkirakan memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap fluktuasi suhu lingkungan, yang dapat meningkatkan viabilitasnya dalam kondisi eksperimental tertentu,

seperti penelitian respons imun terhadap infeksi. Selain itu, spesies ini memiliki periode perkembangan embrionik yang relatif singkat (sekitar 24 jam) serta hubungan filogenetik yang dekat dengan zebrafish, menjadikannya model yang potensial untuk studi perkembangan. Adaptasinya terhadap lingkungan perairan tropis juga membuka peluang untuk penelitian di bidang onkologi, sementara kemampuannya dalam meregenerasi sirip ekor memperkuat relevansinya dalam studi biologi regeneratif. Selain itu, struktur kartilago kranium telah terbentuk sempurna dalam waktu tiga hari, menjadikannya spesies yang ideal untuk studi biomedis terkait perkembangan tulang dan organ (Retnoaji et al., 2023; Susanto et al., 2023).

Dalam ranah penelitian, ikan wader pari memiliki keunggulan sebagai model hewan alternatif yang relevan dengan ekosistem perairan tropis dan dapat dikembangkan untuk berbagai bidang riset. Salah satu potensi terbesar adalah penggunaannya dalam skrining potensi sumber daya alam Indonesia, khususnya dalam penelitian biomedis dan farmasi. Studi menunjukkan bahwa ikan wader pari dapat digunakan untuk memahami mekanisme perkembangan jantung, diferensiasi tulang, serta pengaruh senyawa bioaktif terhadap perkembangan sistem saraf dan metabolisme (Wijaya & Hendrawan, 2023). Hal ini menjadikannya model yang ideal dalam penelitian obat-obatan berbasis bahan alam, termasuk dalam skrining senyawa antiinflamasi, antioksidan, dan antikanker.

b. Eksplorasi Genomik dan Aplikasi Biomedis

Dalam rangka mengembangkan wader pari sebagai hewan model yang dapat digunakan secara luas dalam penelitian biomedis, analisis genomik menjadi langkah yang sangat penting, *whole-genome sequencing* berperan dalam memetakan secara komprehensif struktur genom spesies ini, sehingga dapat mengungkap aspek-aspek fungsional dan evolusioner yang mendasari karakteristik biologisnya. Informasi genomik yang diperoleh akan memungkinkan analisis komparatif dengan model lain, termasuk zebrafish dan organisme vertebrata lainnya, guna mengidentifikasi jalur-jalur molekuler yang berkontribusi terhadap berbagai proses biologis. Lebih lanjut, ketersediaan referensi genom akan mendukung pendekatan

mutagenesis fungsional, seperti *gene knockout* dan penyuntingan gen berbasis CRISPR-Cas, yang esensial dalam memahami fungsi gen serta mekanisme penyakit pada tingkat molekuler.

Sebagai bagian dari upaya untuk menjadikan ikan wader pari sebagai hewan model yang relevan dalam riset biomedis dan ilmu kehidupan tropis, kami telah melakukan whole-genome sequencing, perakitan (assembly), dan anotasi genom spesies ini. Hasil perakitan menghasilkan genom pada tingkat scaffold dengan total ukuran 1,21 gigabasepair, yang telah disubmit ke basis data NCBI dengan identitas BioProject PRJNA1250751. Meskipun masih terdapat fragmentasi, hasilnya menunjukkan tingkat ketuntasan sangat tinggi, yakni 97,4% *complete* BUSCO, serta anotasi genom dengan identifikasi 40.855 gen dan tingkat kelengkapan 95,0%. Pencapaian ini merupakan langkah strategis dalam menyediakan referensi genom komprehensif yang sangat diperlukan untuk mendukung eksplorasi fungsi gen melalui pendekatan mutagenesis fungsional, penyuntingan gen berbasis CRISPR, serta riset-riset lanjut di bidang genetika, biologi perkembangan, toksikologi, dan terapi regeneratif. Dengan demikian, wader pari tidak hanya berperan penting dalam konservasi spesies lokal, tetapi juga memiliki potensi kuat untuk berkontribusi dalam peta riset global berbasis biodiversitas tropis.

4. Konservasi Dan Ketahanan Pangan Berkelanjutan Berbasis Ikan Wader Pari (*Rasbora lateristriata*)

Meskipun ikan lokal seperti wader pari memiliki potensi besar sebagai hewan model dalam riset laboratorium, pemanfaatannya masih sangat terbatas dibandingkan dengan spesies asing seperti zebrafish. Namun, urgensi konservasi wader pari tidak hanya terletak pada aspek ilmiah, melainkan juga pada perannya dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Sebagai sumber protein hewani lokal yang memiliki nilai gizi tinggi dan dapat dibudidayakan secara berkelanjutan, ikan wader pari berpotensi menjadi alternatif pangan strategis di tengah tantangan global, seperti krisis iklim dan volatilitas pangan.

Potensi ikan wader pari sebagai sumber pangan berkelanjutan sangatlah menjanjikan. Namun, eksploitasi berlebihan dan degradasi habitat menyebabkan populasi alaminya menurun drastis. Oleh karena

itu, upaya konservasi dan pengembangan budidaya ikan wader pari perlu dilakukan secara terintegrasi, melibatkan pendekatan sains dan teknologi, serta pemberdayaan masyarakat lokal. Sebagai bentuk inovasi dalam bidang akuakultur, penulis telah melakukan penelitian dan pengembangan teknologi budidaya berbasis sains yang memanfaatkan sistem rekayasa lingkungan untuk menyerupai habitat alami ikan wader pari sejak tahun 2013 hingga saat ini. Teknologi ini, yang telah memperoleh paten resmi, mampu meningkatkan efisiensi reproduksi, sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Inovasi ini menjadi bagian dari strategi konservasi *ex situ* yang dapat memperkuat populasi ikan wader pari untuk tujuan *restocking* maupun produksi pangan. Selain itu, pengembangan pakan berbasis bahan lokal seperti daun kelor, spirulina, dan mikroalga juga dilakukan guna meningkatkan efisiensi pertumbuhan ikan secara ramah lingkungan.

Lebih jauh lagi, diversifikasi produk berbasis ikan wader pari telah diarahkan pada pengembangan pangan fungsional, seperti suplemen nutrisi, produk olahan tinggi protein seperti sambel wader, keripik wader dan abon wader, serta ekstrak minyak ikan kaya omega-3. Bahkan limbah ikan seperti kulit dan tulang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber kolagen untuk produk farmasi dan kosmetik, selaras dengan prinsip ekonomi sirkular.

Dalam aspek pemberdayaan masyarakat, implementasi riset ini melibatkan kemitraan dengan kelompok tani, dan UMKM, serta balai pembenihan dalam pengelolaan *hatchery*, pelatihan teknis, pengembangan sistem budidaya, dan distribusi produk. Pendampingan kepada pelaku usaha dilakukan untuk memperluas adopsi teknologi budidaya yang efisien dan ramah lingkungan.

Dengan integrasi Tri Dharma Perguruan Tinggi, studi terhadap ikan wader pari telah memberikan kontribusi nyata dalam mendukung konservasi spesies lokal, pengembangan model hewan dalam riset ilmiah, inovasi teknologi akuakultur, serta penciptaan sistem pangan berkelanjutan. Upaya ini sejalan dengan pencapaian *Sustainable Development Goals*.

Ke depan, diperlukan sinergi yang lebih erat antara akademisi, pemerintah, industri, dan masyarakat dalam memperkuat ekosistem

riset dan inovasi berbasis keanekaragaman hayati Indonesia. Ikan wader pari menjadi contoh nyata bahwa spesies lokal, jika dikelola secara bijak dan inovatif, dapat memberikan manfaat ekologis, ekonomis, dan ilmiah secara berkelanjutan demi ketahanan pangan dan kesejahteraan bangsa.

5. Rekomendasi

Sebagai upaya strategis dalam memperkuat ketahanan pangan nasional dan konservasi biodiversitas berbasis sumber daya alam lokal, beberapa rekomendasi dapat diajukan sebagai berikut. Pertama, (1) mendorong penggunaan ikan wader pari sebagai hewan model dalam riset, sebagai bagian dari optimalisasi kekayaan biodiversitas Indonesia, (2) mengembangkan media pembelajaran inovatif berbasis sumber daya hayati Indonesia untuk mendukung pendidikan tinggi dan riset lanjutan, serta (3) mengintegrasikan riset multidisiplin—seperti biologi perkembangan, bioinformatika, dan bioteknologi—guna memperluas pemahaman terhadap struktur jaringan, regulasi perkembangan, dan respon adaptif spesies lokal terhadap tekanan lingkungan.

Selanjutnya, dalam hal penguatan budidaya berbasis sains, diperlukan langkah-langkah seperti (4) mengembangkan teknologi budidaya ikan lokal yang mendukung konservasi dan ketahanan pangan, (5) mengoptimalkan pakan ikan berbasis bahan lokal untuk pertumbuhan ikan yang efisien, sehat, dan berkelanjutan, serta (6) menerapkan prinsip ekonomi sirkular dalam sistem budidaya untuk meminimalkan limbah, mengefisienkan biaya produksi, dan menciptakan sistem budidaya yang ramah lingkungan.

Dalam konteks diversifikasi produk berbasis ikan wader pari, rekomendasi meliputi (7) pengembangan produk riset dan diagnostik berbasis jaringan serta organ ikan untuk mendukung studi toksikologi dan fisiologi ikan tropis, (8) pengembangan produk pangan fungsional dan olahan bernilai tambah yang tinggi protein untuk meningkatkan gizi masyarakat, dan (9) eksplorasi senyawa bioaktif dari ikan lokal untuk kebutuhan industri pangan, farmasi, dan kosmetik yang berbasis keanekaragaman hayati lokal.

Untuk mendorong kolaborasi dan pemberdayaan masyarakat, penting untuk (10) membangun kemitraan strategis dengan kelompok tani, UMKM, dan BUMN dalam sistem produksi dan distribusi hasil budidaya ikan lokal, (11) mendorong pemberdayaan masyarakat melalui pendekatan ekologi-partisipatif dengan menjadikan ikan lokal sebagai spesies indikator kualitas ekosistem perairan, serta (12) menyediakan akses permodalan dan kebijakan afirmatif bagi pelaku usaha perikanan lokal guna mengembangkan bisnis berbasis spesies endemik.

Terakhir, dalam mendukung ketahanan pangan, pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), dan regulasi berbasis iptek-lokal, disarankan untuk (13) meningkatkan kontribusi terhadap pencapaian SDGs, (14) mendorong sinergi antara akademisi, industri, dan masyarakat dalam pemanfaatan sumber daya hayati perairan secara berkelanjutan dan inovatif, (15) menjadikan inovasi berbasis ilmu SPH sebagai fondasi pengembangan kebijakan, pendidikan, dan teknologi untuk ketahanan pangan nasional, serta (16) mendorong perumusan regulasi yang mendukung optimalisasi sumber daya alam lokal Indonesia, yang dirancang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), dikombinasikan dengan *local wisdom* dan *local knowledge* untuk memastikan pengelolaan sumber daya berjalan selaras dengan nilai-nilai budaya, sosial, dan ekologis masyarakat lokal.

6. Penutup

Hadirin yang saya hormati,

Sebagai penutup, saya ingin menegaskan kembali bahwa perkembangan dan inovasi dalam **ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan akuatik** memiliki peran krusial dalam **konservasi sumber daya alam dan ketahanan pangan**. Keanekaragaman hayati perairan Indonesia merupakan **aset berharga** yang harus dikelola secara bijaksana, bukan hanya untuk menjaga **keseimbangan ekosistem**, tetapi juga untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui **pemanfaatan sumber daya perairan yang berkelanjutan**.

Melalui **pendekatan berbasis sains dan teknologi**, kita dapat mengembangkan metode budidaya yang lebih **efisien dan ramah lingkungan**, menggali **potensi bioprospeksi** dalam bidang kesehatan

dan farmasi, serta merancang **strategi konservasi adaptif** terhadap perubahan lingkungan dan eksploitasi yang berlebihan. Namun, **tantangan ini tidak dapat dihadapi sendirian. Kolaborasi lintas disiplin** yang melibatkan akademisi, pemerintah, industri, serta masyarakat luas sangat diperlukan untuk menghasilkan **riset yang lebih aplikatif dan inovatif**. Dengan sinergi yang kuat, kita dapat **mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya perairan tanpa mengorbankan keberlanjutannya bagi generasi mendatang**.

Selanjutnya penguatan regulasi yang terpadu dan berbasis sains dalam pengelolaan sumber daya perairan menjadi hal yang sangat penting. Tata kelola konservasi dan perikanan yang lebih baik harus melibatkan berbagai pemangku kepentingan secara sinergis. Dengan adanya dukungan kebijakan yang kuat, kita dapat memastikan bahwa penelitian di bidang ini dapat diterapkan secara nyata dalam upaya menjaga keberlanjutan ekosistem perairan serta meningkatkan ketahanan pangan nasional.

Hadirin yang saya hormati,

Pada kesempatan yang berbahagia ini, Saya ingin menyampaikan rasa **terima kasih yang tulus** kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta kepercayaan kepada saya selama perjalanan akademik ini. **Pengukuhan sebagai guru besar bukanlah akhir dari perjalanan**, tetapi justru merupakan **amanah dan tanggung jawab yang lebih besar**. Saya berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam **pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan bangsa**, serta memastikan bahwa riset yang saya lakukan dapat **memberikan manfaat luas bagi masyarakat, lingkungan, dan masa depan Indonesia**.

Semoga **upaya kolektif** yang telah kita lakukan bersama dapat **memberikan dampak positif dan berkelanjutan** bagi masyarakat dan lingkungan. Sekali lagi, saya mengucapkan **terima kasih atas perhatian dan dukungan** yang telah diberikan.

Hadirin yang saya muliakan dan saya hormati,

Sebagai akhir kata, perkenankan saya mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah Swt atas rahmat dan karunia-Nya

sehingga saya dapat menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar dan semoga saya diberi kekuatan untuk memegang amanah dalam jabatan baru ini.

1. Saya menyampaikan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi RI atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan Akuatik.
2. Ucapan terima kasih yang paling dalam saya persembahkan kepada kedua orang tua saya, almarhum Ayahanda Warsid bin Ranadiwiryono dan almarhumah Ibunda Suratinah binti Rakiman Wongso Dinomo, atas kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tak ternilai dalam membesarkan serta mendidik saya hingga mencapai titik ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya dan mengangkat derajat kedua orang tua saya setinggi-tingginya di sisi-Nya.
3. Terima kasih kepada Rektor, para Wakil Rektor, Dewan Guru Besar, dan Senat Akademik Universitas Gadjah Mada yang telah menyetujui dan mengusulkan pengangkatan jabatan Guru Besar serta atas dukungan dalam pengembangan karier akademik saya.
4. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Budi Setiadi Daryono, M.Agr.Sc. selaku Dekan Fakultas Biologi, para Wakil Dekan, Ketua Departemen Biologi Tropika, dan Senat Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada atas dukungannya dalam proses pengusulan jabatan Guru Besar.
5. Saya juga menyampaikan apresiasi kepada tim SDM Universitas dan Fakultas yang telah membantu memproses pengajuan kenaikan jabatan Guru Besar.
6. Penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para guru saya di SDN Nglihar 1, SMPN N Ngalang, dan SMAN 2 Wonosari yang telah memberikan dasar pendidikan dan bimbingan selama masa sekolah.
7. Terima kasih yang mendalam kepada almarhumah Prof. Dr. Istriyati selaku pembimbing skripsi, Drs. Abdul Rachman, M.S. selaku pembimbing akademik, serta Drs. Bambang Agus Suropto, M.S., M.Sc. selaku pembimbing seminar.

8. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ayolani V. De Lara, dosen pembimbing tesis saya di University of the Philippines Los Baños (UPLB), Filipina, atas bimbingan dan ilmu yang telah beliau berikan selama masa studi saya.
9. Terima kasih kepada Prof. Dr. Yasumasa Bessho yang telah membimbing saya dalam penulisan disertasi S3, di Nara Institute of Sciences and Technology.
10. Rasa hormat dan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Issirep Sumardi yang saat itu menjabat sebagai Dekan dan telah menerima serta membimbing saya sebagai dosen di Laboratorium Histologi dan Embriologi Hewan, Fakultas Biologi.
11. Saya juga berterima kasih kepada kakak saya, Retno Wahyu Untari, S.H., almarhum Drs. Jumina, adik-adik saya: Triwahyu Riyadi, S.T., M.T., Eni Sugiharti Fajarsari, S.H., Marsono, S.T., M.T., dan Safie Diarlina; kepada almarhum Bapak Mardi dan Ibu Jumiyem; serta kepada Nanik Lestari dan Momon Setyadi atas doa, dukungan, dan semangat yang terus mereka berikan.
12. Terima kasih dan apresiasi saya sampaikan kepada seluruh mahasiswa bimbingan skripsi, tesis, dan disertasi yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, atas kerja sama dan kontribusinya dalam pengembangan keilmuan bersama.
13. Tentu saja, rasa terima kasih dan limpahan cinta saya sampaikan kepada istri tercinta, Etik Widayati, S.Pd., serta kepada anak-anak terkasih, Afif Aziz Daffa Alauddin, S.Pt., M.Sc., dan Accelera Zacky Firdaus. Terima kasih atas kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan kalian. Semoga Allah SWT senantiasa meridai dan membimbing anak-anak saya menuju masa depan yang terbaik serta bermanfaat bagi sesama.
14. Terima kasih kepada Prof. Dr. Budi Setiadi Daryono, M.Agr.Sc, Prof. Dr. Endang Semiarti M.S., M.Sc. dan Prof. Dr. L. Hartanto Nugroho, M.Agr. atas koreksi, saran, serta telaah terhadap naskah pidato ini.
15. Terima kasih kepada Prof. Dr. Ratna Susandarini, M.Sc. atas saran dan ide dalam penyusunan naskah pidato saya
16. Terima kasih kepada Prof. Rina Sri Kasiamdari, Ph.D, sebagai WD AKM periode tahun 2016-2021 atas Kerjasama yang terjalin.

17. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh panitia Pidato Pengukuhan Guru Besar Universitas Gadjah Mada atas dukungan dan kerja kerasnya sehingga acara ini dapat berjalan dengan baik dan lancar.
18. Kepada seluruh hadirin yang telah hadir, saya mengucapkan terima kasih atas kehadiran, keikhlasan, dan kesabarannya dalam mengikuti acara ini. Apabila terdapat kekurangan atau kesalahan dalam penyampaian saya, saya mohon maaf yang sebesar-besarnya. Mohon doa restu agar saya senantiasa diberi kemudahan dan kemampuan dalam menjalankan tugas serta tanggung jawab sebagai Guru Besar Ilmu Struktur dan Perkembangan Hewan Akuatik di Universitas Gadjah Mada. Semoga Allah SWT melimpahkan kasih sayang, taufik, dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin yaa rabbal 'alamin.

Sekian, *Wassalamu 'alaikum warrahmatullahi wabarakatuh.*

DAFTAR PUSTAKA

- Bancroft, J. D., & Gamble, M. (2008). *Theory and practice of histological techniques* (6th ed.). Churchill Livingstone.
- Bandyopadhyay, A., Yadav, P. S., & Prashar, P. (2013). BMP signaling in development and diseases: A pharmacological perspective. *Biochemical Pharmacology*, 85(7), 857–864. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.01.004>
- Briscoe, J., & Théron, P. P. (2013). The mechanisms of Hedgehog signalling and its roles in development and disease. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 14(7), 416–429. <https://doi.org/10.1038/nrm3598>
- de Oliveira, T. M., van Beek, L., Shilliday, F., Debreczeni, J. É., & Phillips, C. (2021). Cryo-EM: The resolution revolution and drug discovery. *SLAS Discovery*, 26(1), 17–31. <https://doi.org/10.1177/2472555220960401>
- Dobell, C. (1932). *Antony van Leeuwenhoek and his “Little Animals”*. Harcourt, Brace and Company.
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- Esain, V., Postlethwait, J. H., Charnay, P., & Ghislain, J. (2010). FGF-receptor signalling controls neural cell diversity in the zebrafish hindbrain by regulating *olig2* and *sox9*. *Development*, 137(1), 33–42. <https://doi.org/10.1242/dev.038026>
- Harland, R., & Gerhart, J. (1997). Formation and function of Spemann’s organizer. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 13, 611–667. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.13.1.611>
- Harlow, E., & Lane, D. (1988). *Antibodies: A laboratory manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Heid, C. A., Stevens, J., Livak, K. J., & Williams, P. M. (1996). Real time quantitative PCR. *Genome Research*, 6(10), 986–994. <https://doi.org/10.1101/gr.6.10.986>

- Hwang, W. Y., Fu, Y., Reyon, D., Maeder, M. L., Tsai, S. Q., Sander, J. D., Peterson, R. T., Yeh, J. R. J., & Joung, J. K. (2013). Efficient genome editing in zebrafish using a CRISPR-Cas system. *Nature Biotechnology*, 31(3), 227–229. <https://doi.org/10.1038/nbt.2501>
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816–821. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Keller, P. J., Schmidt, A. D., Wittbrodt, J., & Stelzer, E. H. K. (2008). Reconstruction of zebrafish early embryonic development by scanned light sheet microscopy. *Science*, 322(5904), 1065–1069. <https://doi.org/10.1126/science.1162493>
- Leeuwenhoek, A. (1674). Observations, communicated to the publisher by Mr. Antony van Leeuwenhoek, in a Dutch letter of the 9th of Octob. 1676, here English'd. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 12, 821–831.
- Lieschke, G. J., & Currie, P. D. (2007). Animal models of human disease: Zebrafish swim into view. *Nature Reviews Genetics*, 8(5), 353–367. <https://doi.org/10.1038/nrg2091>
- Logan, C. Y., & Nusse, R. (2004). The Wnt signaling pathway in development and disease. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 20, 781–810. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.20.010403.113126>
- Maeder, M. L., & Gersbach, C. A. (2016). Genome-editing technologies for gene and cell therapy. *Molecular Therapy*, 24(3), 430–446. <https://doi.org/10.1038/mt.2016.10>
- Mardis, E. R. (2008). Next-generation DNA sequencing methods. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 9, 387–402. <https://doi.org/10.1146/annurev.genom.9.081307.164359>
- Nieto, M. A., Patel, K., & Wilkinson, D. G. (1996). In situ hybridization analysis of chick embryos in whole mount and tissue sections. *Methods in Cell Biology*, 51, 219–235. [https://doi.org/10.1016/S0091-679X\(08\)61882-4](https://doi.org/10.1016/S0091-679X(08)61882-4)
- Nüsslein-Volhard, C., & Wieschaus, E. (1980). Mutations affecting segment number and polarity in *Drosophila*. *Nature*, 287(5785), 795–801. <https://doi.org/10.1038/287795a0>

- Pawley, J. B. (2006). Handbook of biological confocal microscopy (3rd ed.). Springer.
- Poss, K. D., Wilson, L. G., & Keating, M. T. (2002). Heart regeneration in zebrafish. *Science*, 298(5601), 2188–2190. <https://doi.org/10.1126/science.1077857>
- Retnoaji, B., Nurhidayat, L., Pratama, S. F., Anshori, K., Hananya, A., Sofyantoro, F., & Bessho, Y. (2023). Embryonic development of Indonesian native fish yellow rasbora (*Rasbora lateristriata*). *Journal of King Saud University - Science*, 35(7), 102810. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102810>
- Saka, Y., & Smith, J. C. (2001). Spatial and temporal patterns of cell division during early *Xenopus* embryogenesis. *Developmental Biology*, 229(2), 307–318. <https://doi.org/10.1006/dbio.2000.9980>
- Suvarna, S. K., Layton, C., & Bancroft, J. D. (2018). Bancroft's theory and practice of histological techniques (8th ed.). Elsevier.
- Wang, Z., Gerstein, M., & Snyder, M. (2009). RNA-Seq: A revolutionary tool for transcriptomics. *Nature Reviews Genetics*, 10(1), 57–63. <https://doi.org/10.1038/nrg2484>