

*Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2019, Palembang 4-5 September 2019  
“Smart Farming yang Berwawasan Lingkungan untuk Kesejahteraan Petani”*

## **Pengembangan Akuakultur pada Lahan Suboptimal Menuju Agromaritim 4.0**

*Development of Aquaculture on Suboptimal Land Towards Agromaritime 4.0*

**Irzal Effendi**<sup>1\*)</sup>

<sup>1</sup>Departemen Budidaya Perairan FPIK-IPB

Pusat Pengkajian Perencanaan dan Pengembangan Wilayah LPPM-IPB, Jawa Barat 16153

<sup>\*)</sup>Penulis untuk korespondensi: [irzalef@gmail.com](mailto:irzalef@gmail.com)

**Sitasi:** Effendi I. 2019. Development of aquaculture on suboptimal land towards agromaritime 4.0. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2019, Palembang 4-5 September 2019*. pp. 9-19. Palembang: Unsri Press.

### **ABSTRACT**

Aquaculture or fish farming is a fisheries production system that has an important role in providing food now and especially in the future, together with agriculture and animal husbandry in the agrimarine context. The system that can apply in freshwater on land, brackish water and sea waters, including suboptimal land area, is predicted will suppress the production of capture fisheries in providing fish for the community. In line with the development of industry 4.0, aquaculture began and is developing an instrumentation, integration and automation strategy that leads to smart farming, both on-farm and off-farm levels, as aquaculture 4.0. At the on-farm level, aquaculture 4.0 can apply to the entire production process since site selection, pond or cage construction and preparation, seed stocking, feeding, water quality management, biomass monitoring, harvesting and postharvest handling, and integrating them with off-farm levels such as marketing, processing, financing, development and so on. On a broader scope can be created integration between aquaculture with agriculture and animal husbandry as integrated agriculture. This paper discusses the concept, implementation and future development of aquaculture 4.0 in responding to the challenges of the times that is increasing productivity and production efficiency as well as market demand suitability and competitiveness, in order to improve the welfare of aquaculture actors and the community.

**Keywords:** aquaculture, efficiency, production, productivity

### **ABSTRAK**

Akuakultur atau perikanan budidaya adalah sistem produksi perikanan yang memiliki peranan penting dalam penyediaan pangan protein saat ini dan terutama di masa depan, bersama-sama dengan pertanian dan peternakan dalam konteks agromaritim. Sistem yang bisa berlaku di perairan tawar di darat, air payau dan laut, termasuk kawasan lahan suboptimal, ini diprediksi produksinya bisa melampaui perikanan tangkap dalam menyediakan ikan bagi masyarakat. Sejalan dengan perkembangan industri 4.0, akuakultur mulai dan sedang mengembangkan strategi instrumentasi, integrasi dan otomatisasi yang mengarah kepada *smart farming*, baik pada level *on-farm* maupun *off-farm*, sebagai akuakultur 4.0. Pada level *on-farm*, akuakultur 4.0 bisa berlaku pada seluruh proses produksi sejak pemilihan lokasi, konstruksi dan penyiapan wadah, penebaran benih, pemberian pakan, pengelolaan air, pemantauan biomasa, pemanenan dan penanganan pascapanen, serta mengintegrasikannya dengan level *off-farm* seperti pemasaran, pengolahan, pembiayaan dan pembinaan. Pada cakupan yang lebih luas bisa tercipta integrasi antara akuakultur dengan pertanian dan peternakan sebagai pertanian terpadu.

Tulisan ini membahas konsep, implementasi dan pengembangan ke depan akuakultur 4.0, termasuk pada lahan suboptimal, dalam menjawab tantangan zaman. Pengembangan akuakultur pada lahan suboptimal menuju agromaritim 4.0 ini bertujuan untuk optimalisasi pemanfaatan lahan suboptimal, juga bisa meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi serta kesesuaian dengan permintaan pasar dan daya saing, dalam rangka meningkatkan kesejahteraan pelaku dan masyarakat.

Kata kunci: efisiensi, perikanan budidaya, produksi, produktivitas

## PENDAHULUAN

Akuakultur (dari bahasa Inggris *aquaculture*) diterjemahkan secara bebas menjadi budidaya perairan atau budidaya perikanan atau perikanan budidaya, mengandung arti upaya manusia meningkatkan produktivitas perairan melalui kegiatan memproduksi biota air dalam wadah terkontrol untuk tujuan mendapatkan keuntungan. Biota air yang diproduksi terdiri dari kelompok ikan (*finfish*), udang (krustasea), kerang (moluska), teripang (ekinodermata) dan tanaman air (alga, makrofita), dan semuanya disebut sebagai ikan – dalam arti luas, baik untuk dikonsumsi (ikan konsumsi), bahan baku industri maupun ikan hias. Berdasarkan kepada habitat biota air atau sumber air yang digunakan dikenal perikanan budidaya air tawar (danau, waduk, situ, sungai saluran irigasi, rawa air tawar, mata air), budidaya air payau (muara sungai, perairan pantai, rawa air payau, paluh) dan budidaya laut atau marikultur (perairan terlindung berupa teluk, selat dan laguna serta perairan terbuka berupa laut lepas pantai atau laut dalam). Dengan demikian, akuakultur bisa diselenggarakan di dataran tinggi dan perbukitan (kolam air deras), dataran rendah (kolam tergenang), pesisir (tambak), laut dangkal (marikultur pesisir) hingga laut dalam (*offshore mariculture*) (Effendi, 2010).

Salah satu kawasan di dataran rendah yang memiliki potensi untuk pengembangan akuakultur adalah lahan suboptimal berupa perairan rawa air tawar (lebak) dan rawa air payau. Di Indonesia, luas perairan rawa mencapai 20,2 juta ha yang terdiri dari rawa pasang surut seluas 11 juta ha dan lahan rawa lebak 9,2 juta (Mulyani dan Sarwani, 2013). Perairan yang dicirikan oleh kandungan oksigen terlarut, pH air yang rendah dan salinitas yang berfluktuatif ini dimanfaatkan untuk akuakultur dengan menggunakan sistem kolam, karamba tancap, karamba apung, atau *pen culture* (Effendi, 2010). Komoditas yang diusahakan pada sistem tersebut adalah yang sesuai dengan kondisi perairan rawa seperti ikan gabus atau haruan (*Channa striata*), ikan toman (*Channa micropeltes*), ikan betok atau papuyu (*Anabas testudineus*), ikan sepat (*Trichogaster pectoralis*), ikan tambakan atau biawan (*Helostoma temminckii*), ikan gumae (*Osphronemus gouramy*) ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan patin (*Pangasianodon hypophthalmus*), ikan lele (*Clarias gariepinus*) dan sebagainya (Huwoyon dan Gustiano, 2013; Saputra *et al.*, 2013; Anwar *et al.*, 2018). Pengelolaan akuakultur yang sesuai di perairan pada lahan subotimal tersebut bisa meningkatkan produksi, produktivitas dan keberlanjutan usaha (Huwoyon dan Gustiano, 2013; Olson dan Morto, 2018)

Tujuan utama akuakultur adalah memproduksi pangan (ikan konsumsi), ikan hias, bahan baku industri. Selain akuakultur, produksi perikanan untuk tujuan tersebut berasal dari perikanan tangkap (*fisheries*) yang dilakukan di laut dan perairan umum sungai, danau dan rawa. Berbeda dengan perikanan tangkap yang hanya memanen ikan dari alam, produksi akuakultur didahului oleh pemilihan lokasi dan penyiapan wadah (kolam, tambak, tangki, karamba), kemudian penebaran ikan, pemberian pakan, pengelolaan air, pemberian pakan, pengelolaan kesehatan ikan, pemantauan populasi dan bobot biomasa, pemanenan hingga penanganan pascapanen dan pemasaran, sehingga lebih terkontrol dan lebih bisa diprediksi (Effendi, 2010). Produksi akuakultur dunia tumbuh secara signifikan mengikuti

pertumbuhan populasi manusia, sementara perikanan tangkap cenderung stagnan bahkan menurun sejak 30 tahun terakhir ini (FAO, 2018). Pada 2016 produksi akuakultur dunia mencapai 80,1 juta ton dan tumbuh dengan kecepatan rata-rata 5,33% per tahun pada periode 2011-2016, sementara produksi perikanan tangkap mencapai 90,9 juta ton dengan pertumbuhan -0,27% pada periode yang sama (Tabel 1). Pertumbuhan produksi akuakultur mampu menutup penurunan produksi perikanan tangkap sehingga produksi perikanan dunia dalam periode tersebut masih bisa tumbuh sebesar 2,12%. Pengembangan akuakultur pada lahan suboptimal menuju agromaritim 4.0 ini bertujuan untuk optimalisasi pemanfaatan lahan suboptimal, juga bisa meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi serta kesesuaian dengan permintaan pasar dan daya saing, dalam rangka meningkatkan kesejahteraan pelaku dan masyarakat.

Tabel 1. Produksi dan pemanfaatan perikanan tangkap dan perikanan budidaya dunia, di luar produksi rumput laut, tanaman akuatik dan mamalia akuatik (jutaan ton) (FAO, 2018, diolah)

Kategori	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Pertumbuhan Rata-rata (%)
<b>Produksi</b>							
<b>a. Perikanan Tangkap</b>							
- Darat	10,7	11,2	11,2	11,3	11,4	11,6	1,64
- Laut	81,5	78,4	79,4	79,9	81,2	79,3	-0,52
<i>Sub-total</i>	92,2	89,6	90,6	91,2	92,6	90,9	-0,27
<b>b. Perikanan Budidaya</b>							
- Darat	38,6	42	44,8	46,9	48,6	51,4	5,91
- Laut	23,2	24,4	25,4	26,8	27,5	28,7	4,35
<i>Sub-total</i>	61,8	66,4	70,2	73,7	76,1	80,1	5,33
<i>Total Produksi</i>	154,0	156,0	160,8	164,9	168,7	171,0	2,12
<b>Pemanfaatan</b>							
a. Pangan	130,0	136,4	140,1	144,8	148,4	151,2	3,07
b. Non-pangan	24,0	19,6	20,6	20,0	20,3	19,7	-3,52
Populasi Manusia	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	1,12
Konsumsi/Kapita (kg)	22,0	22,0	22,3	22,6	23,1	23,1	0,99

Pemanfaatan produksi perikanan dunia untuk pangan tumbuh rata-rata sebesar 3,07% dalam periode 2011-2016, sementara itu produksi perikanan hanya tumbuh 2,12% dalam periode yang sama. Dengan pertumbuhan sebesar 5,33% dalam kurun waktu tersebut, akuakultur lebih diharapkan untuk memenuhi kebutuhan pangan dunia dibandingkan dengan perikanan tangkap yang tumbuh -0,27% (FAO, 2018). Pertambahan penduduk dengan laju 1,12% per tahun atau hampir 100 juta orang per tahun, dan meningkatnya tingkat konsumsi makan ikan dengan laju 0,99% per tahun merupakan potensi pasar yang sangat besar untuk produk perikanan. Di Indonesia, potensi pasar tersebut lebih besar peluangnya diambil oleh akuakultur dibandingkan dengan perikanan tangkap, karena potensi sumber daya alam untuk pengembangan akuakultur jauh lebih besar, baik di darat apalagi di laut. Pengembangan akuakultur menuju agromaritim 4.0 ditujukan untuk memanfaatkan potensi besar pasar dan sumber daya alam tersebut di atas secara efisien, produktif dan berdaya saing dalam rangka meningkatkan kesejahteraan pelaku usaha dan masyarakat serta memperkuat dan meningkatkan posisi Indonesia sebagai produsen utama akuakultur dunia. Agromaritim 4.0 merupakan istilah untuk menandakan integrasi antara matra darat dan laut dalam memproduksi pangan melalui pertanian, perikanan dan peternakan mengikuti perkembangan industri 4.0 yang dicirikan oleh penggunaan *internet of things*, komputasi awan, *big data*, *blockchain*, kecerdasan buatan/*robotic*, drone dan sebagainya dengan tujuan keberlanjutan, kemakmuran, keadilan dan kedaulatan (Satria, 2018; Effendi, 2018). Tulisan ini mendeskripsikan kemungkinan aplikasi akuakultur 4.0 di

perairan pada lahan suboptimal, sehingga bisa meningkatkan optimalisasi pemanfaatan, produktivitas dan efisiensi, daya saing dan keberlanjutan.

### POTENSI PENGEMBANGAN DAN ISU AKUAKULTUR

Indonesia memiliki daratan seluas 1,9 juta km<sup>2</sup> atau 25% dari luas total wilayah dan lautan 5,8 juta km<sup>2</sup> (75%), serta garis pantai sepanjang 98.181 km (keempat terpanjang di dunia setelah Kanada) dan lebih dari 13.466 pulau besar dan kecil (Gambar 1). Dari luas daratan tersebut, 54 juta ha (28%) adalah perairan tawar dan payau berupa danau, waduk, rawa, sungai, muara sungai. Luas perairan di lahan suboptimal Indonesia berupa perairan rawa diperkirakan mencapai 20,2 juta ha, yang terdiri dari rawa pasang surut seluas 11 juta ha dan lahan rawa lebak 9,2 juta (Mulyani dan Sarwani, 2013). Berdasarkan uraian di atas, Indonesia memiliki potensi pengembangan akuakultur yang besar dan menjadi pelaku utama akuakultur dunia, setidaknya setelah Cina, baik untuk budidaya air tawar, air payau apalagi marikultur. Potensi ekonomi marikultur Indonesia diperkirakan mencapai 210 milyar dolar AS per tahun sama dengan sektor energi dan sumber daya mineral, dan jauh di atas perikanan tangkap. Hampir belum ada informasi akurat mengenai potensi ekonomi perairan di lahan suboptimal Indonesia. Pengembangan akuakultur di perairan pada lahan subotimal berpeluang besar meningkatkan produksi akuakultur nasional. Indonesia merupakan produsen akuakultur terbesar ketiga dunia setelah Cina dan India, dengan pertumbuhan produksi paling tinggi yang pada periode 2010-2016 mencapai 19,13% dalam kurun waktu (Tabel 2).



Gambar 1. Potensi sumber daya alam Indonesia untuk pengembangan akuakultur (Dahuri, 2017)

Tabel 2. Produsen akuakultur utama dunia, di luar produksi rumput laut, tanaman akuatik dan mamalia akuatik (dalam ribuan ton) (FAO 2018, diolah)

Negara	2010	2015	2016	Pertumbuhan (%/tahun)	
				2015-2016	2010-2016
Cina	36.734	47.053	49.244	4,66	5,68
India	3.786	5.260	5.700	8,37	8,43
Indonesia	2.305	4.343	4.950	13,98	19,13
Vietnam	2.683	3.438	3.625	5,44	5,85
Bangladesh	1.309	2.060	2.204	6,99	11,40
Mesir	920	1.175	1.371	16,68	8,17
Norwegia	1.020	1.381	1.326	-3,98	5,00
Chilie	701	1.046	1.035	-1,05	7,94

Potensi sumber daya alam tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk akuakultur, bahkan untuk perairan laut kurang dari 1,0% saja. Luas areal akuakultur Indonesia berupa

marikultur, tambak, kolam, keramba, jaring apung, jaring tancap dan sawah mina padi saat ini diperkirakan baru mencapai 1.321.874 ha, tersebar hampir di seluruh propinsi negeri ini. Areal akuakultur yang paling luas berupa tambak yang mencapai 715,9 ribu ha, diikuti oleh marikultur 285,6 ribu ha dan kolam 189,2 ribu ha. Produksi perikanan budidaya Indonesia dengan rumput laut di dalamnya diperkirakan mencapai 16,1 juta ton dengan nilai hampir Rp 187,2 trilyun pada 2017 (Pusdatin 2018). Produksi tersebut lebih dari 2 kali produksi perikanan tangkap yang hanya 7,1 juta ton (Tabel 3). Kontribusi terbesar berasal dari rumput laut, diikuti oleh kolam air tenang dan tambak. Produksi kolam air tenang umumnya berupa ikan nila, ikan lele dan ikan patin, sedangkan tambak berupa ikan bandeng dan udang vaname. Propinsi produsen utama akuakultur nasional berdasarkan kepada volume produksi adalah Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Tenggara, Maluku, Sumatera Selatan dan Sulawesi Utara.

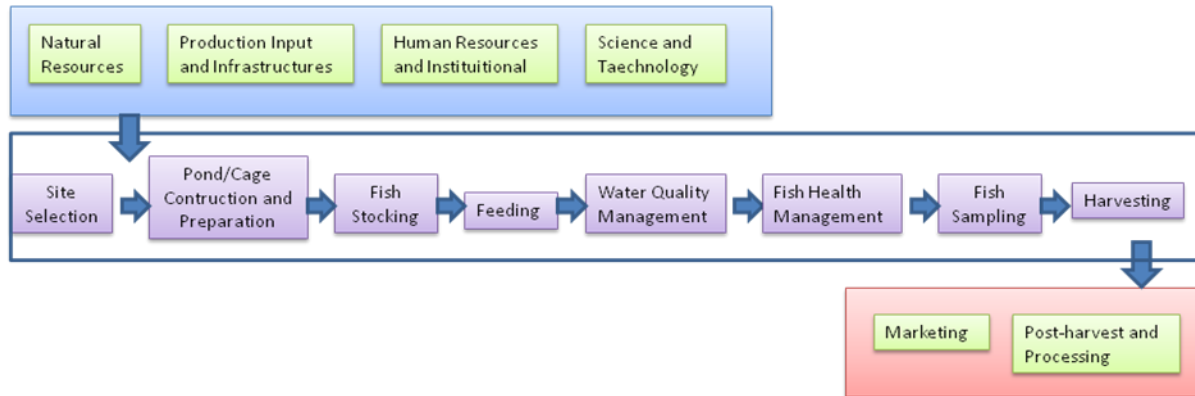
Tabel 3. Produksi dan nilai produksi perikanan nasional pada 2017

Perikanan	Produksi (ton)	Nilai Produksi (sejuta)
<b>Perikanan Tangkap</b>		
Perikanan Laut	6.603.631	184.620.258
Perairan Umum	467.821	12.716.814
<i>Sub Jumlah</i>	<i>7.071.452</i>	<i>197.337.071</i>
<b>Akuakultur</b>		
Jaring Apung Laut	76.175	10.345.562
Jaring Apung Tawar	353.748	8.111.145
Jaring Tancap Tawar	25.446	515.555
Karamba	243.728	7.259.567
Kolam Air Deras	70.043	1.713.001
Kolam Air Tenang	2.681.959	61.290.946
Budidaya Laut Lainnya	62.450	2.121.547
Minapadi Sawah	82.870	2.249.780
Rumput Laut	9.746.045	21.189.049
Tambak Intensif	39.954	2.381.246
Tambak Sederhana	1.596.064	23.393.405
Tambak SemiIntensif	1.136.510	46.578.171
<i>Sub Jumlah</i>	<i>16.114.991</i>	<i>187.148.975</i>
<b>Jumlah</b>	<b>23.186.442</b>	<b>384.486.046</b>

Sumber : Pusdatin (2018)

Isu dan permasalahan akuakultur nasional, termasuk pada perairan di lahan suboptimal, mencakup: 1) benih, 2) pakan, 3) energi, 4) penyakit, 5) sumber daya manusia, 6) regulasi, 7) pasar, 8) mutu lingkungan dan 9) infrastruktur wilayah, bisa dibagi menjadi isu internal dan eksternal. Isu nomor 1-3 merupakan *input* produksi, sedangkan isu nomor 4 dan 5 bersama-sama dengan isu nomor 1-3 mempengaruhi proses produksi, adapun aspek nomor 7 terkait dengan *output* produksi pada sistem produksi akuakultur. Aspek nomor 6, 8 dan 9 adalah faktor eksternal yang berdampak langsung terhadap sistem produksi akuakultur (Gambar 2). Proses pada sistem produksi akuakultur terdiri dari pemilihan lokasi, konstruksi wadah produksi (kolam, tambak, karamba, tangki dan sebagainya), penebaran benih, pemberian pakan, pengelolaan kualitas air, pengelolaan kesehatan ikan, pemantauan populasi dan biomasa ikan, pemanenan dan penanganan pascapanen (Effendi, 2010). Pada sistem produksi akuakultur tersebut, *input* produksi meliputi prasarana dan sarana produksi seperti wadah, benih, pakan, energi (bahan bakar minyak dan listrik), obat-obatan dan peralatan produksi. Isu dan permasalahan pada *input* produksi, terutama benih, pakan dan energi, adalah ketersediaan yang tepat waktu, tepat jumlah, tepat mutu dan tepat harga. Isu ketersediaan *input* produksi tersebut disebabkan oleh lokasi produksi akuakultur yang umumnya bersifat *remote area*, terutama marikultur. Isu kapasitas sumber daya manusia

dan kelembagaan terkait dengan penguasaan teknologi dan manajemen usaha terutama dalam implementasi cara berbudidaya ikan yang baik atau CBIB dan aplikasi teknologi informasi pada proses produksi akuakultur. Isu tersebut berdampak kepada produktivitas, efisiensi dan daya saing akuakultur.



Gambar 2. Sistem produksi akuakultur *on-farm* dan *off-farm* secara umum yang meliputi *input*, proses dan *output* (Effendi 2010)

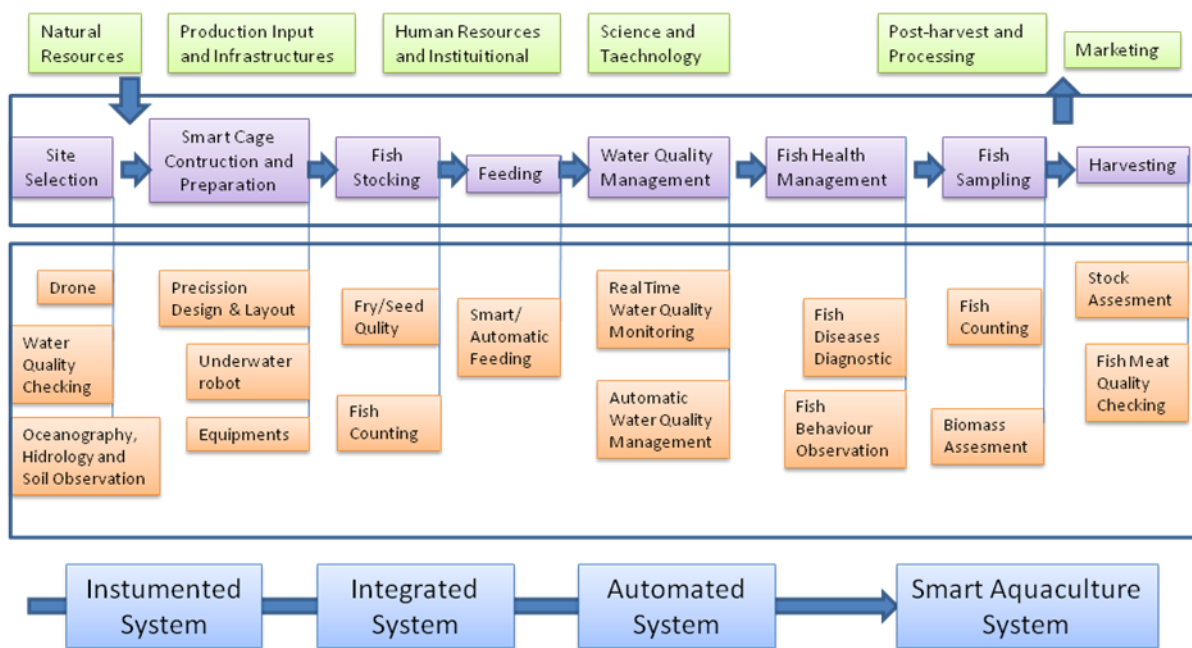
#### AKUAKULTUR 4.0

Uraian berikut ini menjelaskan bagaimana akuakultur menerapkan teknologi industri 4.0 untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi dan daya saing, termasuk perairan di lahan suboptimal. Akuakultur 4.0 adalah upaya memproduksi ikan secara terkontrol dan menguntungkan dengan memanfaatkan teknologi industri 4.0 yang dicirikan oleh penggunaan *internet of things*, komputasi awan, *big data*, *blockchain*, kecerdasan buatan/*robotic*, drone dan sebagainya dengan tujuan meningkatkan produktivitas, efisiensi, daya saing dan keberlanjutan (Effendi, 2019). Setiap proses pada sistem produksi akuakultur, sejak pemilihan lokasi, konstruksi wadah produksi (kolam, tambak, karamba, tangki dan sebagainya), penebaran benih, pemberian pakan, pengelolaan kualitas air, pengelolaan kesehatan ikan, pemantauan populasi dan biomasa ikan hingga pemanenan dan penanganan pascapanen bisa diterapkan teknologi industri 4.0 (Gambar 3). Pada setiap proses akuakultur 4.0 tersebut bisa diaplikasikan berbagai instrumentasi (*instrumented system*) yang bisa saling terhubung secara terpadu (*integrated system*) dan dioperasikan secara otomatis (*automated system*) sehingga membentuk sistem akuakultur pintar (*smart aquaculture system*).

Implementasi sistem instrumentasi, sistem integrasi dan sistem otomatisasi pada akuakultur 4.0 bisa dilakukan pada setiap tahap/proses dalam sistem akuakultur (Tabel 4). Implementasi tersebut bisa dilakukan secara bertahap, yakni pada bagian tertentu saja pada proses produksi akuakultur, kemudian pada tahap berikutnya sebelum akhirnya secara keseluruhan, sehingga membentuk *smart aquaculture* atau *smart fish farming*. Dewasa ini tengah dikembangkan integrasi antara pengukuran kualitas air secara real time dengan pemberian pakan otomatis. Pemberian pakan secara otomatis dilakukan dengan mempertimbangkan nafsu makan ikan kultur yang dikontrol oleh suhu, oksigen terlarut dan cahaya pada lingkungan media pemeliharaan, sehingga bisa mengurangi pakan yang terbuang dan meningkatkan efisiensi pemberian pakan dan memperbaiki nilai *feed conversion ratio* (FCR). Integrasi antara instrumen pemberian pakan otomatis dengan instrumen pengukuran kualitas air secara *real time* ini merupakan perbaikan terhadap

*automatic feeder* yang selama ini menggunakan *timer* untuk menentukan waktu pemberian pakan tanpa mempertimbangkan nafsu makan ikan.

Akuakultur bisa dilakukan pada hampir seluruh permukaan bumi mulai di dataran tinggi dan perbukitan (kolam air deras), dataran rendah (kolam tergenang), pesisir (tambak), laut dangkal (marikultur pesisir) hingga laut dalam (*offshore mariculture*) (Effendi, 2010). Beberapa lokasi potensial tersebut memiliki kondisi yang relatif ekstrim dan liar seperti perairan laut dalam, perairan di lahan suboptimal (rawa air payau dan rawa air tawar), kawasan hutan mangrove yang tebal dan luas, dataran tinggi yang terjal dan sebagainya. Untuk keperluan pengembangan akuakultur (ekstensifikasi) perlu kajian kesesuaian lingkungan sebagai upaya pemilihan lokasi yang sesuai, dilakukan dengan metode survey ke lapangan untuk mendapatkan data primer dan *ground check* data sekunder. Aplikasi teknologi autonomous surface vehicle (ASV), coastal buoy (CB), drone, remotely operated vehicles (ROVs) bisa menghemat waktu, tenaga dan biaya serta meningkatkan akurasi dan kualitas kajian. Kondisi yang relatif ekstrim dan liar tersebut bukan menjadi halangan dalam pekerjaan survey kesesuaian lokasi untuk membangun unit produksi akuakultur. Unit produksi akuakultur di lokasi tersebut, ke depan bahkan bisa sebagian besar dikontrol dan dikendalikan secara jarak jauh, kapan saja dan dimana saja, hanya dengan menggunakan *smartphone*.



Gambar 3. Akuakultur 4.0 dicirikan oleh penggunaan sistem instrumentasi, integrasi dan sistem otomatisasi (Effendi, 2018)

Beberapa permasalahan akuakultur praktis seperti rendahnya kelangsungan hidup dalam wadah produksi disebabkan oleh kematian selama proses produksi berlangsung. Penyebab kematian tersebut seringkali tidak diketahui, seperti pada budidaya udang vaname di laut (Effendi *et al.*, 2016). Jumlah udang yang mati dengan populasi udang yang hidup tidak *matching*, yang menandakan ada udang yang hilang. Dengan aplikasi underwater televisual system (UTS) yang tersambung layar monitor dengan bantuan internet kita bisa memonitor kapan saja kejadian di dalam air pada tambak, kolam atau karamba pada kondisi air keruh dan malam hari sekalipun secara akurat kapan saja, tanpa kita berada di lokasi produksi. Kejadian di dalam wadah produksi tersebut seperti kanibalisme, predasi oleh predator yang bersifat hama, ikan stres dan tingkah laku ikan bisa dimonitor dan

diuantifikasi guna mengoreksi data kematian ikan yang hanya didasarkan kepada jumlah ikan yang mati terdeteksi.

Tabel 4. Potensi implementasi sistem instrumentasi, sistem integrasi dan sistem otomatisasi pada akuakultur 4.0 yang bisa diterapkan di lahan suboptimal di Indonesia

Sistem	Ruang Lingkup Pekerjaan	Instrumentasi Pintar	Sistem Integrasi/Otomatisasi
Produksi Akuakultur			
Pemilihan lokasi	Mengukur dan mengamati kualitas air (fisika, kimia dan biologi), oseanografi (kedalaman/batimetri, arus, gelombang, pasut), klimatologi (angin, curah hujan, suhu dan kelembaban udara), tanah (kesuburan dan tekstur), lahan (elevasi dan topografi), biota (tanaman dan hewan) darat dan air.	Autonomous Surface Vehicle (ASV), Coastal Buoy (CB), Drone, Remotely Operated Vehicles (ROVs), Artificial Intelligence (AI), Internet of Think (IoT).	Mengkombinasikan data yang terkumpul dengan persyaratan teknis untuk menentukan lokasi pengembangan akuakultur, <i>smartphone</i>
Konstruksi dan Persiapan Wadah	Merancang desain detil, menghitung kebutuhan bahan, membangun, memasang dan mengawasi, melaporkan, pembangunan fasilitas produksi akuakultur	Drone, Underwater Robot (UR), ROVs, AI, IoT	Perancangan-pembangunan-pengawasan secara terpadu dengan presisi tinggi, <i>smartphone</i>
Penebaran Benih	Menentukan benih sehat, menghitung dan menimbang benih, mengaklimatisasi benih, mengamati tingkhlaku ikan pascapenebaran	Underwater Televisual System (UTS), Automatic Fish Counter (AFC), Expert System (ES)	Ekofisiologi dan biometri ikan, menentukan sumber, harga dan penanganan benih, perjanjian dan transaksi dagang, <i>smartphone</i>
Pemberian Pakan	Menentukan biomasa ikan, menghitung kebutuhan pakan, memberi pakan, mengamati nafsu makan dan tingkah laku makan ikan	Smart Automatic Feeder (SAF), UTS, AFC, IoT, Expert System	Pemberian pakan secara otomatis dengan mempertimbangkan nafsu makan ikan dan kualitas air ( <i>smart automatic feeding</i> ), <i>smartphone</i>
Pengelolaan Kualitas Air	Memonitor kualitas air lingkungan budidaya secara <i>real time</i> ,	Sensor, Real Time Water Quality Checker (RTWQC) – IoT, ASV, CB, Drone, ROVs, AI, IoT	<i>Smart automated-water quality management</i> , <i>smartphone</i>
Pengelolaan Kesehatan Ikan	Mengamati dan menentukan kesehatan ikan, mendiagnosis penyakit ikan, menentukan jenis obat	UTS, IoT, AI	Integrasi antara kondisi kesehatan ikan dengan data RTWQC, <i>smart fish health management</i> , <i>smartphone</i>
Pemantaun Populasi dan Biomasa	Menghitung populasi ( $N_t$ ) dan bobot rata-rata ( $W_t$ ) ikan, menentukan biomasa ( $B_t$ ) ikan dalam wadah budidaya $B_t=N_t.W_t$	UTS, IoT, AFC, AI	Integrasi antara biomasa saat ini dengan pemberian pakan saat ini dan kebutuhan pakan yang akan datang serta waktu panen, <i>smartphone</i>
Pemanenan	Menduga stok ikan siap panen dengan menghitung biomasa ( $B_t$ ) ikan berdasarkan populasi ( $N_t$ ) dan bobot rata-rata ( $W_t$ ) ikan, $B_t=N_t.W_t$	UTS, IoT, AFC	Integrasi antara pemanenan, pemasaran dan pengangan pascapanen ( <i>smart harvesting</i> ), <i>smartphone</i>
Penanganan Pascapanen	Menentukan kualitas daging pascapemanenan berdasarkan citra (warna) dan teksturnya, menentukan kualitas ikan hias (warna dan bentuk)	Metode color level cooccurrence matrix, AI, sensor	Integrasi antara kualitas daging ikan dengan harga dan preferensi konsumen, <i>smartphone</i>



Sistem Produksi Akuakultur	Ruang Lingkup Pekerjaan	Instrumentasi Pintar	Sistem Integrasi/Otomatisasi
Pemasaran	Menentukan tujuan pasar, volume permintaan, tipe produk, waktu pengiriman, cara pembayaran	Aplikasi-aplikasi berbasis komputasi awan, blockchain	Aplikasi pada <i>smartphone</i>
Monitoring Lingkungan Kawasan	Mengukur dan mengamati kualitas air (fisika, kimia dan biologi), oseanografi (kedalaman/batimetri, arus, gelombang, pasut), klimatologi (angin, curah hujan, suhu dan kelembaban udara), tanah (kesuburan dan tekstur), lahan (elevasi dan topografi), biota (tanaman dan hewan) darat dan air suatu kawasan akuakultur.	Sensor, Real Time Water Quality Checker (RTWQC) – IoT, ASV, CB, Drone	<i>Integrated external-internal water quality, early warning system, smart automated-water quality management, smartphone</i>
Pengelolaan kelembagaan usaha dan kelompok pembudidaya	Memantau kinerja produksi, kinerja usaha dan kinerja kelembagaan anggota kelompok, pengurus dan masyarakat terkait	Aplikasi-aplikasi berbasis komputasi awan, blockchain	Integrasi antara kinerja produksi, kinerja usaha, kinerja kelembagaan

Sumber: Effendi *et al.*, (2005), Suwanto *et al.*, (2015), Prawesti *et al.*, (2015), Nurjaya *et al.*, (2011), Effendi (2018), Dupont *et al.*, (2018), Effendi *et al.*, (2018), Niswar *et al.*, (2018)

Salah satu kegiatan dalam sistem produksi akuakultur adalah menentukan biomasa ikan dalam tambak, kolam atau karamba melalui pengambilan contoh atau sampling. Ikan dalam wadah produksi ditangkap dengan menggunakan jala kemudian ditimbang dan diukur panjangnya serta dihitung. Dari sampling tersebut diketahui populasi ( $N_t$ ) dan bobot rata-rata ( $W_t$ ) ikan, sehingga bisa menentukan biomasa ( $B_t$ ) ikan dalam wadah produksi, yakni  $B_t = N_t \cdot W_t$ . Informasi tersebut penting untuk mengetahui aset usaha akuakultur di dalam wadah produksi, sehingga bisa menentukan waktu panen dan melakukan perjanjian perdagangan, dan jumlah pakan yang diberikan setiap hari. Jumlah pakan yang diberikan kepada ikan kultur setiap hari (*feeding rate*) dihitung berdasarkan persen dari bobot biomasa ikan. Kesalahan dalam menentukan bobot biomasa ikan bisa menyebabkan ketidaksesuaian dalam pemberian pakan, dan bisa menyebabkan kerugian usaha. Pakan merupakan komponen biaya produksi yang paling besar, bisa mencapai 70%, terutama pada akuakultur intensif. Selain itu, kegiatan sampling juga menyebabkan gangguan fisiologis pada ikan. Ikan beberapa saat tidak mau makan karena stres. Berdasarkan uraian di atas, perlu aplikasi teknologi sampling yang akurat dan tidak menyebabkan ikan stres, yakni dengan menggunakan UTS dan/atau automatic fish counter (AFC).

## KESIMPULAN

Akuakultur 4.0 memiliki potensi diaplikasikan di perairan pada lahan suboptimal guna meningkatkan optimalisasi pemanfaatan, produktivitas, efisiensi, daya saing dan keberlanjutan. Perlu implementasi akuakultur 4.0 di perairan pada lahan suboptimal secara bertahap pada setiap tahap proses produksi akuakultur, antara lain melalui kaji tindak (*action research*), sehingga bisa dihasilkan teknologi tepat guna yang diterapkan secara praktis dan menguntungkan di kawasan tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada pihak yang memberikan dukungan dalam penelitian atau penulisan makalah, baik sebagai mitra konsultasi dan/atau penyandang dana antara lain Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Dekan FPIK-IPB, Ketua Departemen Budidaya Perairan FPIK-IPB, Kepala P4W LPPM-IPB, Kepala PKSPL LPPM-IPB dan Prof. Dr. Indra Jaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar K, Bijaksana U, Herliwati, Ahmadi. 2018. Oodev injection frequency and time period in advancing gonad rematuration of snakehead (*Channa striata* Blkr) in hapa system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 3(3):1114-1123.
- Dahuri R. 2017. *Evaluasi Kinerja dan Perkiraan Prospek untuk Pembangunan Akuakultur yang Efisien, Berdaya Saing, Inklusif dan Berkelanjutan*. FGD MAI dan Stakeholder Akuakultur Indonesia di Bandung. Semarang: MAI.
- Dupont C, Cousin P, Charlotte S. 2018. IoT for Aquaculture 4.0: Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT. <http://www.eglobalmark.com/wp-content/uploads/2018/06/2018-06-IoT-for-Aquaculture-4.0.pdf> [Diakses 26 April 2019].
- Effendi I. 2010. *Pengantar Akuakultur, Edisi ke-3*. Jakarta: PT Penebar Swadaya.
- Effendi I. 2018. *Akuakultur 4.0*. Bogor: Departemen Budidaya Perairan, FPIK-IPB.
- Effendi I, Nirmala K, Saputra UH, Sudrajat AO, Zairin Jr M, Kurokura. 2005. Water quality fluctuation under floating net cages for fish culture in Lake Cirata and its impact on fish survival. *Fisheries Science*. 71(5):927-977.
- Effendi I, Suprayudi MA, Surawidjaja EH, Supriyono E, Junior MZ, Sukenda. 2016. Production performance of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under sea floating net cages with biofloc and periphyton juvenile. *AAFL Bioflux*. 9(4):823-832.
- Effendi I, Suprayudi MA, Nurjaya IW, Surawidjaja EH, Supriyono E, Junior MZ, Sukenda. 2016. Kondisi oseanografi dan kualitas air di beberapa perairan Kepulauan Seribu dan kesesuaiannya untuk budidaya udang vaname *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8(1):403-417.
- Effendi I, Jaya I, Irman H. 2018. *Pengembangan Iptek Marikultur Berbasis Komunitas menuju Agromaritim 4.0. Proposal Penelitian 2018*. Jakarta: Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Ristek-Dikti.
- FAO. 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture, Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FPIK-IPB. 2018. *Background Study: Perikanan dan Kelautan. Penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) 2019-2024*. Bogor: Bappenas – IPB.
- Huwoyon GH, Gustiano R. 2013. Peningkatan produktivitas budidaya ikan di lahan gambut. *Media Akuakultur*. 8(1):13-21.
- Mulyani A, Sarwani M. 2013. Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(1):47-55.
- Nurjaya W, Saenuddin, Effendi I. 2011. Analisis mikro oseanografi dan simulasi karamba budidaya di lepas pantai barat Pulau Jukung, Kepulauan Seribu DKI Jakarta. *Jurnal Kelautan Nasional*. 6(1): 56-67.
- Niswar M, Wainalang S, Ilham AA, Zainuddin Z, Fujaya, Muslimin Z, Paundu AW, Kashihara S, Fallz D. 2018. *IoT-based Water Quality Monitoring System for Soft-shell*

- Crab Farming*. Bali: IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS).
- Olson KR, Morto LW. 2018. Polders, dikes, canals, rice, and aquaculture in the Mekong Delta. *Journal of Soil and Water Conservation*. 73(4):83-89.
- Pusdatin. 2018. Satu Data Produksi Kelautan dan Perikanan Tahun 2017. Jakarta: Pusat Data, Statistik, dan Informasi - Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Prawesti A, Haryanto T, Effendi I. 2015. Sistem pakar identifikasi varietas ikan mas (*Cyprinus carpio*) berdasarkan karakteristik morfologi dan tingkahlaku. *Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika*. 4(1):6-13.
- Saputra E, Taqwa FH, Fitriani M. 2013. Kelangsungan hidup dan pertumbuhan benih nila (*Oreochromis niloticus*) selama pemeliharaan dengan padat tebar berbeda di lahan pasang surut Telang 2 Banyuasin. *Jurnal Lahan Suboptimal*. 2(2):197-205.
- Satria A. 2018. *Agro-maritim 4.0*. Kontribusi Pemikiran IPB untuk Indonesia. Bogor: IPB.
- Suwarto, Aryanto AT, Effendi I. 2015. Perancangan model pertanian terpadu tanaman-ternak dan tanaman-ikan di Perkampungan Teknologi Telo, Riau. *J. Agron. Indonesia*. 43(2):168-177.