

# KONTROL KUALITAS AIR KOLAM IKAN LELE BERBASIS MICROBUBBLES DAN INTERNET OF THINGS (IOT)

<sup>1,\*</sup>Sukarni Sukarni, <sup>1</sup>Avita Ayu Permanasari, <sup>1</sup>Poppy Puspitasari, <sup>1</sup>Heru Suryanto, <sup>1</sup>Aminuddin Aminuddin, <sup>2</sup>Anie Yulistyorini, <sup>1</sup>Malik Abdurrahman, <sup>1</sup>Ardianto Prasetyo, dan <sup>1</sup>Yahya Zakaria

Universitas Negeri Malang

Email : [sukarni.ft@um.ac.id](mailto:sukarni.ft@um.ac.id)

**Abstrak :** Tujuan pengabdian masyarakat ini adalah memberikan solusi atas permasalahan yang dihadapi oleh mitra berupa teknologi tepat guna untuk monitoring kualitas air berbasis IoT dan microbubbles yang dilengkapi dengan sensor salinitas, kejernihan, pH, dissolved oxygen (DO), dan sensor temperatur. Perangkat ini dapat memantau kualitas air secara realtime dan ketika kualitas air dibawah ambang batas, maka generator microbubbles akan aktif untuk memproduksi microbubbles kemudian mengalirkan air tersebut ke kolam ikan. Metode pelaksanaan pengabdian ini dimulai dengan observasi untuk mengetahui masalah pada mitra, perancangan dan pembuatan perangkat teknologi, sosialisasi serta pengujian performa perangkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan instrumen yang diajukan, mitra dapat menghemat penggunaan air sebanyak 20%, pengeluaran listrik sebanyak 17%, dan memudahkan mitra karena perangkat teknologi ini dapat diatur dengan mudah menggunakan smartphone. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa instrumen yang diajukan dapat menjadi solusi terhadap permasalahan yang dialami mitra.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), kolam ikan, kontrol air, microbubbles aerator, teknologi tepat guna

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan ikan selama budidaya sangat ditentukan oleh lingkungan akuakultur di dalam kolam (Sri et al., 2019; Supono, 2015). Oksigen terlarut di dalam air akan berpengaruh terhadap kesehatan ikan (Siegiers et al., 2019; Sugianti & Astuti, 2018) dan temperatur air kolam menentukan laju metabolisme (Dyara et al., 2019; Remen et al., 2013). Derajat keasaman air kolam yang sesuai dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan ikan (Nisa et al., 2013; Tambunan, 2018). Oleh karenanya mengontrol dan mengkondisikan kualitas air dalam budidaya ikan adalah bagian sangat penting yang menentukan keberhasilan budidaya ikan (Azhari & Tomaso, 2018; Eshmat & Manan, 2013).

Kemajuan teknologi yang pesat di era revolusi industri 4.0 selayaknya memberikan kontribusi bagi peningkatan kualitas budidaya ikan, termasuk diantaranya untuk proses kontrol dan pengendalian kualitas air (KKP, 2018). Pemanfaatan teknologi akan memberikan dampak positif karena memudahkan pekerjaan, mempercepat dan efisien.

Permasalahan pada mitra pengabdian, yaitu UD. Republik Lele adalah masih menggunakan metode konvensional dalam budidaya ikan, tidak ada mekanisme untuk kontrol dan pengendalian kualitas air, sehingga produktifitasnya masih belum optimal. Meskipun metode bioflok merupakan alternatif yang dapat meningkatkan produktifitas hingga tiga kali lipat, akan tetapi dalam pelaksanaannya tidak mudah dilakukan oleh pembudidaya ikan konvensional. Perlakuan dan monitoring kualitas air kolam pada metode bioflok merupakan kunci keberhasilan metode ini, namun dalam praktiknya sulit dilakukan terutama bagi pembudidaya yang masih belum berpengalaman dan masih menggunakan peralatan konvensional. Oleh karenanya upaya pemberdayaan dengan memanfaatkan teknologi perlu terus dilakukan, agar kualitas dan kuantitas produksi ikan terus bisa ditingkatkan. Teknologi yang diajukan untuk mengatasi masalah pada mitra pengabdian ini adalah *microbubbles generator* berbasis *internet of things* (IoT) yang proses pengontrolannya dapat dilakukan *real time* melalui *smartphone*.

*Microbubbles generator* merupakan *aerator* yang menghasilkan gelembung udara dalam skala mikro pada air kolam. Penggunaan *microbubbles* memiliki beberapa kelebihan dari sifat fisikokimia, yaitu: luas permukaan spesifik yang besar, laju disolusi gas dan adsorpsi permukaan yang baik, serta dapat bertahan lama di dalam air (Takahashi et al., 2003; Zhang et al., 2016). Produksi gelembung dari *microbubbles generator* ini dikendalikan dengan mikrokontroler Arduino.

Mikrokontroler Arduino memungkinkan pembuatan peralatan elektronik interaktif untuk pengendalian prototipe dan peralatan berbiaya rendah dengan ketersediaan sensor yang luas. Bahasa perangkat lunak C/C++ dari Arduino didasarkan pada empat langkah: (1) Deklarasi variabel; (2) Pembangunan mode operasi standar (*void setup*); (3) Penentuan rutinitas (*void loop*); dan (4) Dimasukkannya fungsi baru yang diinginkan (Elazhary, 2019). Namun, penggunaan Arduino pada kegiatan ini hanya sebatas sebagai mikrokontroler yang menghubungkan antara pengguna, aktuator dan sensor yang digunakan. Teknologi kontrol kualitas dan monitoring air kolam berbasis *microbubbles* dan *internet of things* (IoT) yang dimaksud pada program pengabdian ini adalah seperangkat peralatan yang terdiri dari *microbubbles generator* dan serangkaian sensor yang secara keseluruhan menerapkan IoT (Solstorm et al., 2018).

Kualitas air kolam akan dipantau secara periodik dan apabila kualitas air berada di bawah batas yang telah ditentukan, *microbubbles generator* akan aktif dan meningkatkan kualitas air tersebut. *Microbubbles generator* akan mati jika kadar *dissolved oxygen* (DO) sudah berada di atas batas yang telah ditentukan. Berdasarkan permasalahan tersebut, digunakan Teknologi Tepat Guna *microbubbles generator* dengan sistem IoT ini untuk mendukung mitra UD.

Republik Lele, sehingga dapat meningkatkan proses produksi ikan kolam, dan dapat menekan biaya produksi menjadi lebih rendah.

## METODE

Guna mendukung pelaksanaan kegiatan ini beberapa pendekatan metode yang digunakan, meliputi:

- (1) Observasi lapangan, dilakukan guna mendapatkan informasi dan menemukan permasalahan yang dihadapi oleh mitra, sekaligus dapat menentukan solusi (teknologi tepat guna) yang yang cocok untuk memecahkan masalah monitoring dan pengendalian kualitas air pada kolam budidaya ikan lele,
- (2) Metode tanya jawab dan diskusi, guna memperoleh keakuratan data dan permasalahan yang dihadapi oleh mitra, dan dapat menjadi acuan dalam instalasi perangkat teknologi yang ditawarkan sebagai solusi,
- (3) Perencanaan desain dan manufaktur; mendesain gambar kerja dan menganalisis komponen yang diperlukan guna memenuhi kebutuhan perangkat teknologi yang digunakan,
- (4) Manufaktur, pembuatan dan merakit komponen perangkat teknologi,
- (5) Uji coba perangkat teknologi, melibatkan tim pelaksana pengabdian dan karyawan untuk melakukan uji coba. Bagian ini penting dilakukan untuk memberikan pelatihan penggunaan dan cara perawatan, agar alat yang digunakan dapat terjaga dan tidak cepat rusak, dan
- (6) Evaluasi hasil kegiatan, untuk menentukan tingkat manfaat kegiatan dan penggunaan alat *microbubbles generator* dengan sistem IoT bagi mitra.

Adapun mitra dalam kegiatan ini adalah UD. Republik Lele berlokasi di Pare, Kabupaten Kediri, dengan jumlah karyawan aktif 25 orang.

## HASIL & PEMBAHASAN

Hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat ini diantaranya:

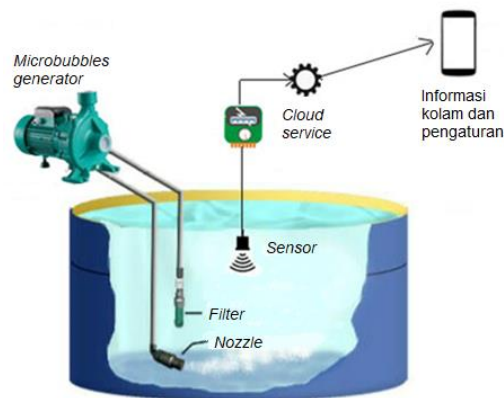
- (1) Desain alat monitoring kualitas air kolam berbasis *microbubbles* dan IoT,
- (2) Instalasi dan konstruksi perangkat lengkap dengan prosedur dan petunjuk penggunaan,
- (3) *Software* aplikasi yang dapat diunduh dengan gratis,
- (4) Transfer teknologi tepat guna dari pelaksana terhadap mitra, guna dapat mengatur kualitas air kolam secara otomatis.

### 3.1. Teknologi *microbubbles generator* dan IoT

Desain dari sistem perangkat teknologi ini ditampilkan pada Gambar 1. Prinsip kerja dari perangkat dapat dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Perangkat teknologi *microbubbles generator* dikendalikan dengan IoT melalui aplikasi "blynk" yang dapat diunduh di *google playstore*.

- (2) User dapat mengatur batasan maksimum dan minimum salinitas, DO, kekeruhan (*turbidity*), kecerahan, pH air dan dapat mengetahui temperatur air kolam dengan aplikasi “blynk” melalui *smartphone*.
- (3) Air kolam secara periodik akan dialirkan menuju bak sampel untuk di cek salinitas, DO, kekeruhan, kecerahan, pH dan temperaturnya.
- (4) Interval dan durasi pengecekan dapat diatur sesuai kebutuhan dan jenis ikan yang dibudidayakan.
- (5) Jika salah satu parameter air kolam berada di luar rentang ambang batas maksimum dan minimum yang sudah disetel oleh pengguna melalui *smartphone*, maka pengguna akan mendapatkan notifikasi di *smartphone* dan air dari tandon yang sudah diproses dengan *microbubbles generator* akan dialirkan menuju kolam melalui kran *input* yang berada di kolam tersebut.
- (6) Ketika kualitas air sudah berada di dalam *range setting* pada pengecekan selanjutnya, *microcontroller* akan memproses data tersebut sehingga kran *input* akan otomatis tertutup.
- (7) Proses tersebut akan terus bersiklus dengan otomatis.



**Gambar 1. Teknologi *microbubbles generator* berbasis IoT**

Sumber : (Desain pribadi, 2020)

### 3.1.1. *Nozzle microbubbles*

Hasil manufaktur dari *nozzle microbubble* tipe venturi dengan *3D-printer* ditampilkan pada Gambar 2. *Nozzle microbubbles* yang digunakan berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air dengan ukuran diameter kurang dari 200  $\mu\text{m}$  dengan beberapa metoda yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Beberapa metoda tersebut adalah *electrolytic microbubbles generator*, *porous plate*, *ventury tube type bubble generator*, dan *spherical body in a flowing water tube* (Deendarlianto et al., 2017; Pambudiarto et al., 2020; Sadatomi et al., 2012). *Microbubbles* ini berfungsi aktif sebagai penghasil oksigen yang diperlukan ikan di dalam kolam, sehingga dapat meningkatkan kualitas air yang terpolusi sisa-sisa pakan dan kotoran ikan sehingga penyakit yang menyebabkan kematian ikan dapat diminimalisir. Tipe dari *generator microbubbles* yang diaplikasikan

pada mitra pengabdian ini adalah tipe venturi dan dipasang pada tandon sehingga dapat dialirkan untuk 20 kolam.



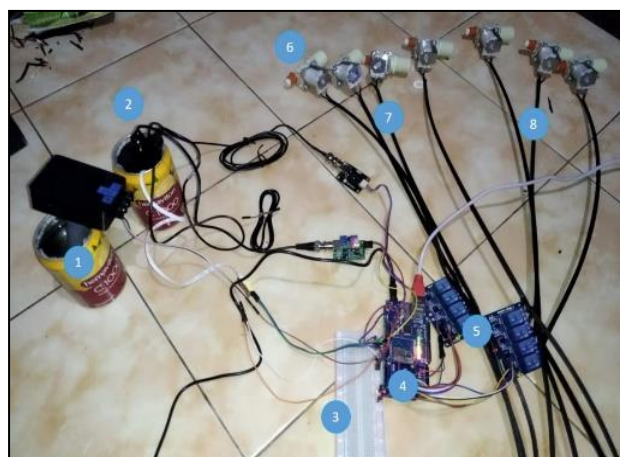
**Gambar 2. Nozzle microbubbles tipe Venturi**

Sumber : (Dokumentasi pribadi, 2020)

Cara kerja dari *microbubbles* tersebut adalah: (1) ketika air dari pompa bertekanan tinggi mengalir masuk ke dalam tandon, dari tekanan tinggi tersebut kemudian dialirkan melalui pipa yang mengerucut berukuran diameter besar ke kecil, sehingga secara otomatis tekanan air tersebut akan menjadi lebih tinggi. (2) Bagian tengah *nozzle* diberi membran, sehingga pada bagian luar *nozzle* tersebut dapat menyerap udara dari luar. (3) Udara dari luar masuk ke dalam *nozzle* akibat dari tekanan di dalam pipa yang rendah, sehingga udara masuk dan air bertekanan yang mulanya statis, terpecah menjadi air yang memiliki arus dan mengalir ke arah keluar menuju nozzle berbentuk gelembung-gelembung air.

### **3.1.2. Rangkaian Internet of Things (IoT)**

Instalasi rangkaian IoT yang digunakan sebagai kontrol ditampilkan pada Gambar 3.

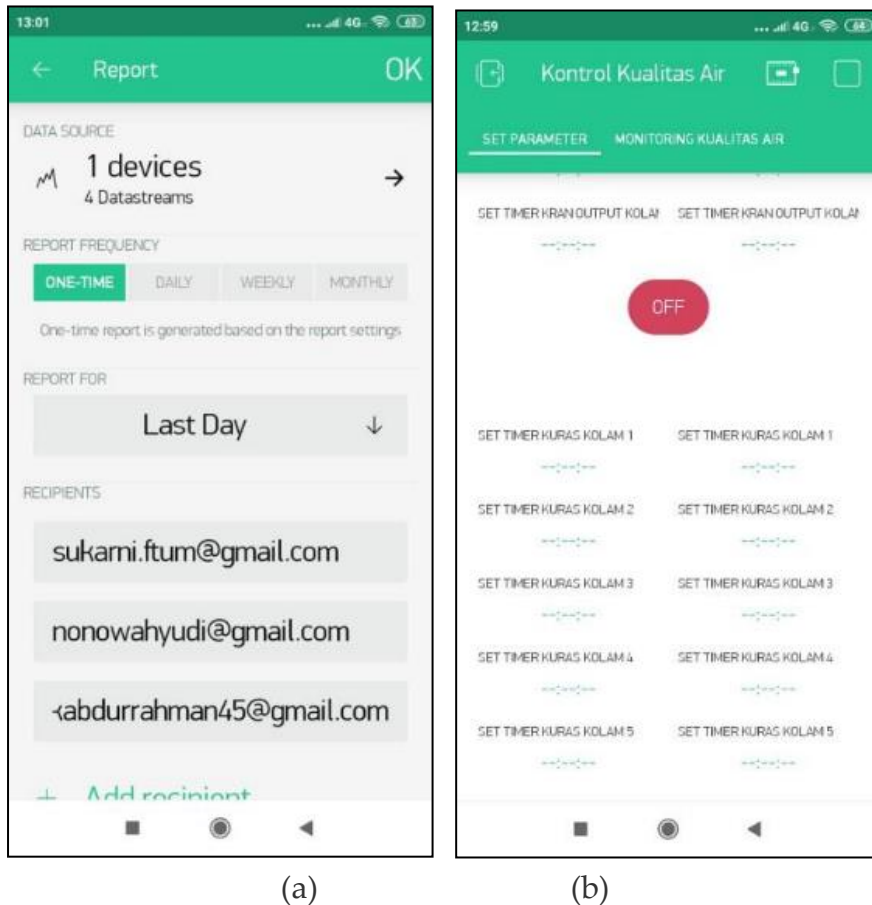


**Gambar 3. Instalasi Rangkaian IoT: (1) Sensor salinitas, (2) Sensor turbidity, pH dan DO, (3) Project board, (4) Mikrokontroler Arduino, (5) Relay, (6) Valve untuk kran kuras (1 buah), (7) Valve untuk kran input (3 buah), (8) Valve untuk kran output (3 buah)**

Sumber : (Dokumentasi pribadi, 2020)

### 3.1.3. Aplikasi “blynk” pada *smartphone*

Pada aplikasi “blynk” terdapat halaman utama aplikasi guna mengetahui frekuensi penyimpanan data kualitas air kolam yang akan dikirim ke email pengguna, seperti ditampilkan pada Gambar 4(a) dan halaman menu pengaturan waktu setiap kolam ditampilkan pada Gambar 4(b).



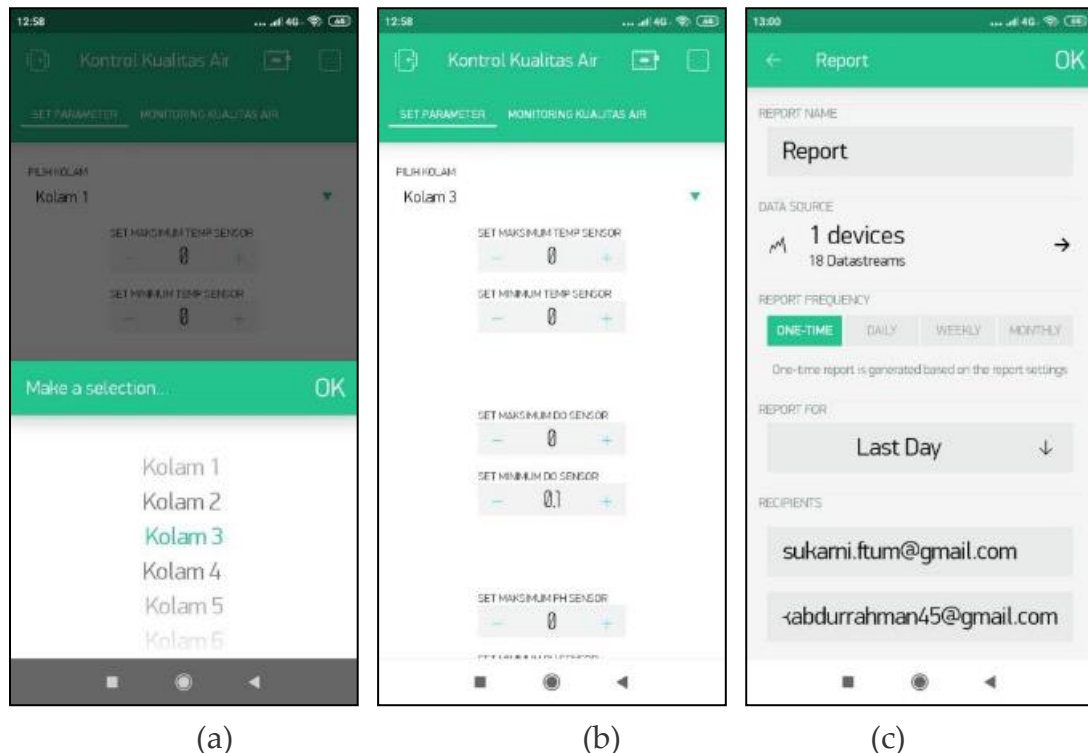
**Gambar 4. (a) Halaman utama aplikasi, (b) Pengaturan waktu tiap kolam**

Sumber : (Dokumentasi Pribadi Sistem Aplikasi, 2020)

Contoh pengaturan kontrol kualitas air pada kolam di dalam aplikasi “blynk” ditampilkan pada Gambar 5(a), untuk pengaturan setelan rentang parameter kualitas air ditampilkan pada Gambar 5(b) dan sebagai tahap terakhir pengaturan frekuensi data dikirimkan ke email pengguna ditampilkan pada Gambar 5(c).

Alat kontrol kualitas air ini dapat digunakan pada banyak kolam secara bersamaan. Sebagai gambaran pada kolam 3 perlu dilakukan pengecekan tingkat kualitas air kolam setiap interval waktu 2 jam, dengan total 20 kolam, sehingga pada waktu 120 menit tersebut dibagi menjadi 20 kolam, kemudian

pada aplikasi akan menunjukkan waktu setiap 6 menit sekali, pada kolam yang berbeda, kualitas air kolam dapat dipantau secara periodik dan otomatis. Selain waktu pengecekan, jarak setiap kolam juga berpengaruh terhadap setelan bak kolam sampel dan pada nomor urut kolam yang akan dikontrol. Karena adanya perbedaan jarak ini, waktu pengecekan setiap kolam bisa berbeda-beda. Semua informasi mengenai kualitas air kolam dapat dimonitor dan dikontrol secara *realtime* menggunakan *smartphone*.



**Gambar 5. (a) Sistem kontrol interval waktu pada kolam, (b) Data source pada data stream, (c) Pengaturan frekuensi waktu**

Sumber : (Dokumentasi Pribadi Sistem Aplikasi, 2020)

### 3.2. Evaluasi hasil percobaan

Hasil kegiatan untuk memecahkan masalah yang dihadapi oleh mitra di UD. Republik lele, yaitu kontrol kualitas air kolam dengan teknologi *microbubbles generator* berbasis sistem IoT untuk mengontrol kualitas air kolam yang lebih efisien. Beberapa tahapan kegiatan yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- (1) Melakukan kunjungan lapangan guna mengetahui permasalahan yang dihadapi oleh mitra UD.Republik Lele,
- (2) Melakukan koordinasi dan wawancara tanya jawab guna mendapatkan informasi yang akurat,

- (3) Melakukan desain dan melakukan perhitungan perancangan konstruksi alat,
- (4) Pengadaan peralatan dan bahan pendukung pembuatan kontrol kualitas air berbasis *microbubbles* dan IoT, berupa sensor, kabel, relay, valve dan arduino,
- (5) Instalasi rangkaian IoT untuk menyatukan secara keseluruhan komponen yang telah diperoleh,
- (6) Uji coba aplikasi “blynk” yang telah disinkronkan dengan sistem IoT untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat,
- (7) Adanya transfer teknologi kepada mitra yang diberikan melalui proses pelatihan,
- (8) Orientasi dan pemberian bimbingan secara berkala kepada mitra guna mengetahui tingkat keberhasilan alat yang diberikan, dan
- (9) Melakukan evaluasi hasil kegiatan.

Hasil evaluasi pemanfaatan *microbubbles generator* dengan sistem IoT ini ditabulasikan untuk mengetahui adanya perbedaan antara sebelum kegiatan pengabdian dan setelah kegiatan pengabdian, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Dampak penerapan teknologi *microbubbles generator* dengan sistem IoT**

No	Komponen	Kondisi sebelum penerapan	Kondisi setelah penerapan
1	Monitoring kualitas air	Tidak ada	Ada monitoring
2	Jumlah air yang digunakan	100%	80%
3	Konsumsi listrik	100%	83%
4	Peningkatan kadar DO	0%	25%
5	Tingkat kepadatan kolam	450 ekor/m <sup>3</sup>	750 ekor/m <sup>3</sup>
6	Harga	Rp 15.000.000	Rp 12.000.000

Sumber : (Dokumen pribadi, 2020)

Tabel 1 menunjukkan bahwa penerapan teknologi *microbubbles generator* dengan sistem IoT telah memberikan manfaat bagi mitra pengabdian, yaitu volume air yang digunakan lebih sedikit, konsumsi listrik berkurang, meningkatkan kadar DO, jumlah ikan di dalam kolam bertambah, menurunkan biaya produksi tiap bulan, dan harga yang lebih terjangkau.

Penerapan teknologi *microbubbles generator* dengan sistem IoT ini masih mengalami kendala teknis, yaitu masih terdapat *buck* pada aplikasi “blynk” yang dapat mengganggu proses pengaturan pada sistem.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari kegiatan pengabdian masyarakat pada mitra UD. Republik Lele dengan penerapan teknologi tepat guna monitoring kualitas air berbasis *microbubbles* dan IoT, yaitu:

- (1) Adanya penerapan teknologi masa kini berupa *microbubbles generator* menggunakan sistem IoT untuk mengontrol kualitas air kolam secara otomatis
- (2) Terdapat transfer teknologi berupa pelatihan cara pengoperasian dan perawatan alat *microbubbles generator* menggunakan sistem IoT kepada mitra di UD. Republik Lele, dan
- (3) Dampak positif yang dirasakan secara langsung oleh mitra berupa kemudahan dalam sistem kontrol kualitas air dari manual menjadi otomatis yang dapat terintegrasi dengan mudah.

Kegiatan pengabdian masyarakat berupa penerapan teknologi tepat guna monitoring kualitas air berbasis *microbubbles* dan IoT ini sangat bermanfaat, namun demikian masih ada kendala *buck* pada aplikasi “blynk”. Oleh karenanya disarankan agar ke depan ada tindak lanjut yang didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Negeri Malang agar bisa dilakukan perbaikan sistem aplikasi “blynk”, sehingga teknologi ini dapat digunakan lebih optimal. Bagi mitra UD. Republik Lele disarankan agar dapat merawat dan mengoptimalkan penggunaan teknologi monitoring kualitas air berbasis *microbubbles* dan IoT yang telah dihibahkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Negeri Malang yang telah mendukung kegiatan ini dengan dana PNBP nomor kontrak 4.3.1066/UN32.14.1/PM/2020.

## DAFTAR RUJUKAN

- Azhari, D., & Tomaso, A. M. (2018). Kajian Kualitas Air dan Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dibudidayakan dengan Sistem Akuaponik. *Akuatika Indonesia*, 3(2), 84–90. <https://doi.org/10.24198/jaki.v3i2.23392>
- Deendarlianto, D., Indarto, I., Juwana, W. E., Afisna, L. P., & Nugroho, F. M. (2017). Performance of Porous-Venturi Microbubble Generator for Aeration Process. *Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering*, 2(2), 73–80. <https://doi.org/10.22219/jemmme.v2i2.5054>
- Dyara, R., Buwono, I. D., S, Handaka, A. A., Lili Walim, & Bangkit, I. (2019). Uji Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Binih Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) Pada Rentang Suhu yang Berbeda. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, X(1), 46–

54.

- Elazhary, H. (2019). Internet of Things (IoT), mobile cloud, cloudlet, mobile IoT, IoT cloud, fog, mobile edge, and edge emerging computing paradigms: Disambiguation and research directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 128, 105–140.
- Eshmat, E., & Manan, A. (2013). Analisis Kondisi Kualitas Air pada Budidaya Ikan Kerapu Tikus (*Cromileptes Altivelis*) di Situbondo. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 5(1), 1–4.
- KKP. (2018). *KKP Optimalkan Bisnis Akuakultur di Era Industri 4.0*.  
<https://kkp.go.id/djpb/artikel/5941-kkp-optimalkan-bisnis-akuakultur-di-era-industri-4-0>
- Nisa, K., Marsi, & Fitriani, M. (2013). Pengaruh pH pada Media Air Rawa terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Benih Ikan Gabus (*Channa striata*). *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 1(1), 57–65.  
<https://doi.org/10.36706/jari.v1i1.1779>
- Pambudiarto, B. A., Mindaryani, A., Deendarlianto, & Budhijanto, W. (2020). Evaluation of the effect of operating parameters on the performance of orifice/porous pipe type micro-bubble generator. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52(2), 196–207.  
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.5>
- Remen, M., Oppedal, F., Imsland, A. K., Olsen, R. E., & Torgersen, T. (2013). Hypoxia tolerance thresholds for post-smolt Atlantic salmon: Dependency of temperature and hypoxia acclimation. *Aquaculture*, 416–417, 41–47.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.024>
- Sadatom, M., Kawahara, A., Matsuura, H., & Shikatani, S. (2012). Micro-bubble generation rate and bubble dissolution rate into water by a simple multi-fluid mixer with orifice and porous tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 41, 23–30.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exptthermflusci.2012.03.002>
- Siegers, W. H., Prayitno, Y., & Sari, A. (2019). Pengaruh Kualitas Air terhadap Pertumbuhan Ikan Nila Nirwana (*Oreochromis sp.*) pada Tambak Payau. *The Journal of Fisheries Development*, 3(2), 95–104.
- Solstorm, D., Oldham, T., Solstorm, F., Klebert, P., Stien, L. H., Vågseth, T., & Oppedal, F. (2018). Dissolved oxygen variability in a commercial sea-cage exposes farmed Atlantic salmon to growth limiting conditions. *Aquaculture*, 486, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.008>
- Sri, R., Restiana Wisnu, A., & Lestari Laksmi, W. (2019). Pengantar akuakultur. In *Penebar Swadaya*. Jakarta (Vol. 188, Issue May). Undip Press.
- Sugianti, Y., & Astuti, L. P. (2018). Respon Oksigen Terlarut Terhadap Pencemaran dan Pengaruhnya Terhadap Keberadaan Sumber Daya Ikan di

- Sungai Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 203–211.  
<https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2488>
- Supono. (2015). *Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur*. Plantaxia.
- Takahashi, M., Kawamura, T., Yamamoto, Y., Ohnari, H., Himuro, S., & Shakutsui, H. (2003). Effect of shrinking microbubble on gas hydrate formation. , *J. Phys. Chem*, 2171–2173.
- Tambunan, P. M. (2018). Studi Pengaruh pH dan Kesadahan terhadap Pertumbuhan Ikan Mas Koi (*Crypinus Carpio*) dengan Media Pertumbuhan Air Sungai Tuntungan. *Jurnal Saintika*, 18(1), 8–11.
- Zhang, L., Liu, J., Liu, C., Zhang, J., & Yang, J. (2016). Performance of a fixed-bed biofilm reactor with microbubble aeration in aerobic wastewater treatment. *Water Sci. Technol*, 74, 138–164.