



1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Petanian terpadu (*Integrated farming*) merupakan suatu pendekatan pada pertanian sebagai perbandingan dari pendekatan monokultur yang sudah ada dengan mengacu pada sistem pertanian yang mengintegrasikan peternakan konvensional, budidaya perairan, hortikultura, agroindustri dan segala aktivitas pertanian dengan mengedepankan keseimbangan dan memperhatikan kesehatan lingkungan serta pengoptimalan aliran energi (Nurhidayati *et al.* 2008; Rana dan Chopra 2013). Pertanian terpadu dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan, diantaranya adalah mengurangi erosi tanah, meningkatkan karbon organik tanah, meningkatkan fungsi biologis tanah, meningkatkan kualitas air, meningkatkan produktivitas lahan, serta meningkatkan hasil dan keuntungan baik sosial maupun ekonomi (Sanderson *et al.* 2013). Salah satu bentuk dari sistem ini ialah minapadi.

Minapadi merupakan suatu model yang dianggap efisien dan efektif diterapkan pada sawah irigasi dengan ketersediaan air cukup selama pertumbuhan padi dan ikan. Menurut Cahyaningrum *et al.* (2014), penerapan sistem minapadi menguntungkan, karena petani dapat memperoleh padi dan juga ikan dalam waktu bersamaan. Minapadi memiliki stabilitas hasil padi yang sama dengan monokultur padi. Hal tersebut dikaitkan dengan adanya interaksi positif antara padi dan ikan yang menghasilkan sifat ekosistem. Sifat ekosistem yang terjadi pada minapadi diantaranya adalah ikan dapat menjadi biokontrol pada tanaman padi, padi mendapatkan manfaat dari ikan dengan menurunkan serangan hama serangga, penyakit, gulma, serta dapat mengurangi pertumbuhan spora dan miselium yang disebabkan oleh aktivitas ikan dalam air pada tanaman padi (Xie *et al.* 2011). Manfaat yang didapatkan dari padi diantaranya yaitu, padi dapat meningkatkan lingkungan untuk ikan dengan memberikan naungan dan menurunkan suhu air pada siang hari, meningkatkan kelarutan N dan membantu menurunkan konsentrasi amonia dalam air dan total N di dalam tanah yang menjadikan air cocok untuk ikan (Fengbo *et al.* 2019; Siikavuopio *et al.* 2012; Xie *et al.* 2011). Menurut Xie *et al.* (2011), padi juga menyediakan sumber makanan tambahan bagi ikan seperti serangga pemakan daun yang jatuh dari tanaman padi. Pada minapadi, N dari pakan yang tidak digunakan oleh ikan dapat diambil langsung tanaman padi dan juga setelah dilepaskan oleh dekomposer serta pakan yang tidak dikonsumsi oleh ikan dapat bertindak sebagai pupuk organik (Hu *et al.* 2013). Menurut Oehme *et al.* (2007) bahwa memberi makan ikan dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi tanah dan juga dapat meningkatkan serapan hara oleh tanaman padi. Selain itu, tanaman padi juga memperoleh tambahan N dari ekskresi buangan bernitrogen sebagai amonia dan fosfat dari ikan (Campbell 2004, Lazzari dan Baldisseroto 2008). Integrasi padi dan ikan ini akan meningkatkan keterkaitan pemanfaatan aliran input-output antar kedua komoditas, sehingga proses produksi menjadi lebih efisien. Untuk itu, perlu dilaksanakan penelitian efisiensi pemupukan pada sistem minapadi dengan berbagai dosis pupuk anorganik. Varietas padi yang digunakan pada penelitian ini adalah padi

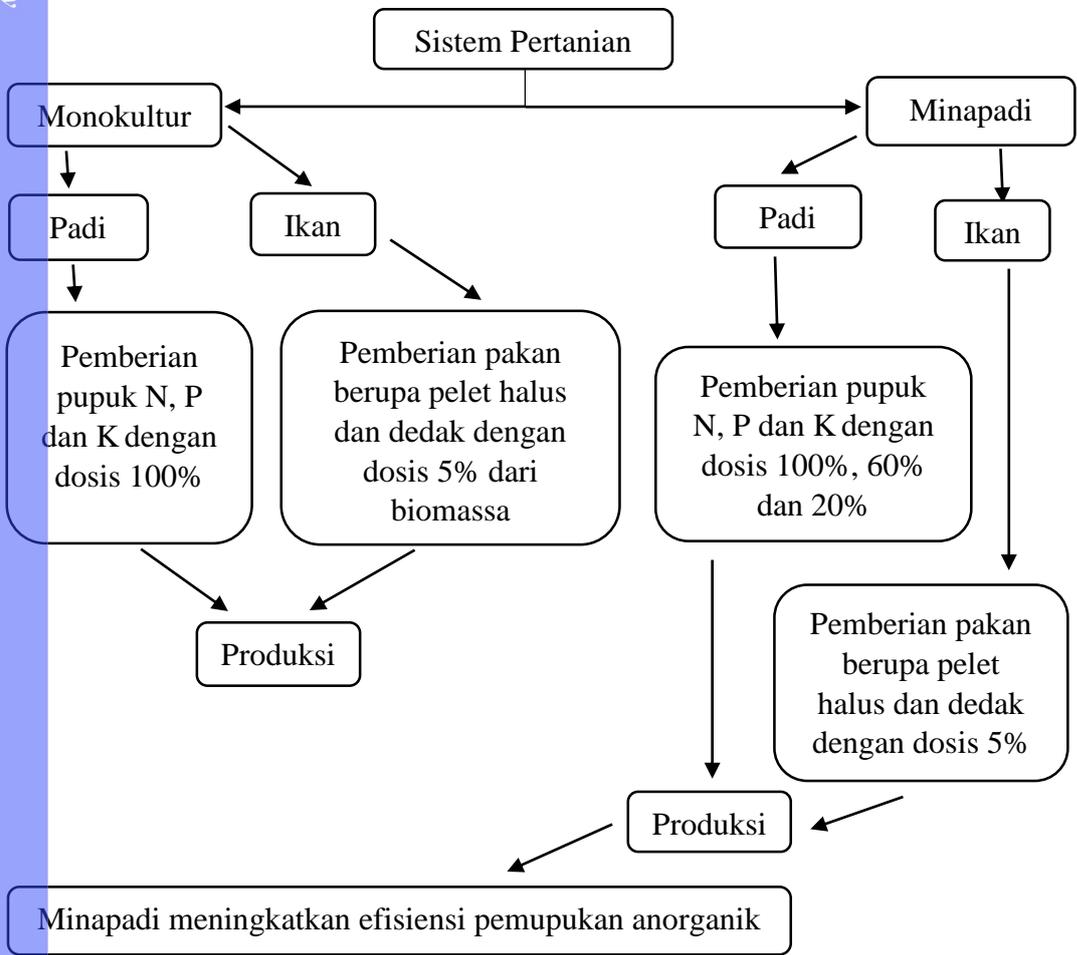
(*Oryza sativa*) IPB 3S, dan spesies ikan yang digunakan adalah ikan mas (*Ciprynus carpio* L.).

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengurangan pupuk anorganik pada pertanian terpadu padi-ikan dengan sistem minapadi sehingga meningkatkan efisiensi pemupukan.

Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menjawab tujuan penelitian maka dilakukan percobaan di lapangan dan laboratorium. Berikut adalah diagram alir penelitian “Efisiensi Pemupukan pada Sistem Pertanian Terpadu Minapadi” dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram alir penelitian “Efisiensi Pemupukan pada Sistem Pertanian Terpadu Minapadi”

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Minapadi

Istilah minapadi berasal dari bahasa Sansekerta yaitu mina yang berarti ikan, sehingga minapadi dapat diartikan sebagai sistem pemeliharaan ikan di sawah yang dilakukan bersamaan dengan penanaman atau pemeliharaan padi. Batas masa pemeliharaan ikan pada sistem minapadi berkisar 45–65 hari. Batas masa pemeliharaan ikan ini terkait erat dengan umur padi. Dalam prakteknya, waktu pemanenan ikan disesuaikan dengan tujuan penanaman ikan, untuk pendederan atau pembesaran (Tiku 2008). Menurut Hu *et al.* (2015), sistem padi-ikan adalah salah satu model yang berhasil untuk memproduksi padi dan ikan dengan penggunaan sumber daya lahan dan air tawar secara efisien serta telah berkontribusi pada ketahanan pangan lokal, pengentasan kemiskinan dan pelestarian lingkungan serta telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir di dunia dan juga telah dipraktekkan di 28 negara termasuk diantaranya adalah Indonesia.

Minapadi telah dipraktekkan oleh petani di Indonesia terutama di Jawa Barat lebih dari satu abad yang lalu, tepatnya sejak tahun 1860 di Ciamis (BAPPENAS 2018). Minapadi merupakan subsistem usaha tani budidaya ikan di sawah irigasi yang dilakukan secara bersamaan dengan tanaman padi dalam suatu areal yang sama dengan bergantung pada ketersediaan air, curah hujan, bibit ikan, dan pasar (Balitbangtan 2017). Sistem usaha tani tersebut bervariasi antar daerah, sehingga masih terbuka peluang untuk memperbaiki teknologinya (Suriapermana *et al.* 1989).

Minapadi memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah dapat mengoptimalkan manfaat dari sumber daya lahan dan air, mengurangi penggunaan pestisida (karena dapat menurunkan serangan penyakit, hama dan gulma di sawah), mengurangi aplikasi pupuk N, meningkatkan hara tanah untuk tanaman padi, dapat menyelesaikan masalah-masalah tertentu yang disebabkan oleh budidaya air tawar, akan tetapi tingkat adopsi di dunia tetap rendah sehingga diperlukan adanya berkelanjutan (Hu *et al.* 2015). Sistem budidaya terintegrasi tersebut berusaha menciptakan ekosistem sawah. Sawah merupakan suatu ekosistem buatan yang menyediakan habitat bagi beberapa organisme seperti plankton yang memainkan peran penting dalam ekosistem air tawar karena menempati posisi sentral dalam rantai makanan, mentransfer energi dari produsen primer ke organisme pada tingkat yang lebih tinggi (Chang *et al.* 2005). Secara alami, ikan memperoleh makanan dari fitoplankton, zooplankton, residu tanaman, atau tumbuhan air seperti *Azolla* (Taiz dan Zeiger 2010). Kotoran yang dikeluarkan ikan menjadi sumber nitrogen bagi padi (Campbell *et al.* 2004). Kotoran ikan, residu hewan-hewan air, residu tanaman juga akan menjadi sumber bahan organik bagi tanah yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tanaman padi. Pakan yang dikonsumsi oleh ikan akan dimetabolisir sehingga menyebabkan terjadinya pertumbuhan dan buangan metabolisme (amonia dan karbon dioksida). Pemberian pakan dapat menyebabkan terjadinya sisa pakan, yakni pakan yang tidak termakan oleh ikan. Sisa pakan tersebut dapat menyebabkan menurunnya kandungan oksigen terlarut di dalam air, oksigen tersebut digunakan oleh bakteri



pengurai sisa pakan (Effendi 2004). Akan tetapi, minapadi memiliki beberapa masalah diantaranya adalah predator yang dapat mengurangi stok ikan, seperti pencuri yang termasuk predator paling sulit untuk dicegah, serta persiapan lapangan yang membutuhkan waktu, tenaga dan uang yang besar (FAO 2001).

Siklus Nitrogen

Nitrogen (N_2) merupakan unsur yang paling berlimpah di atmosfer bumi yaitu sekitar 78% (Brooker *et al.* 2011). Nitrogen adalah salah satu unsur kimia utama yang ada dalam ekosistem. Nitrogen tersedia bagi tumbuhan hanya dalam dua bentuk mineral: NH_4^+ (amonium) dan NO_3^- (nitrat). Unsur tersebut sebagian besar terdapat dalam bentuk gas nitrogen (N_2), yang tidak tersedia pada tumbuhan (Taiz dan Zeiger 2010; Campbell *et al.* 2004).

Nitrogen pada ekosistem terestrial

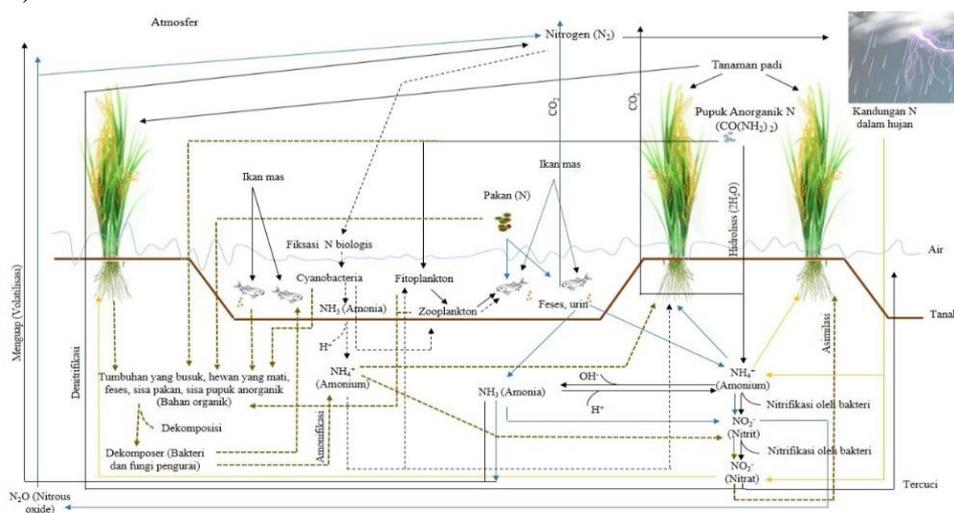
Nitrogen memasuki ekosistem melalui dua jalur alamiah yang relatif bervariasi dari satu ekosistem ke ekosistem lain. Pertama, deposit pada atmosfer sekitar 5–10% dari nitrogen yang dapat digunakan dan memasuki sebagian besar ekosistem. Dalam proses tersebut kedua bentuk mineral nitrogen yang tersedia bagi tumbuhan, ditambahkan ke tanah melalui kelarutan dalam air hujan, pengendapan debu-debu halus atau butiran-butiran lainnya (Campbell *et al.* 2004). Beberapa tanaman epifit yang memiliki akar udara dapat secara langsung mengambil kedua bentuk mineral nitrogen dari atmosfer. Kedua, nitrogen masuk ke ekosistem melalui fiksasi nitrogen (*nitrogen fixation*).

Fiksasi nitrogen 90% merupakan hasil dari fiksasi secara biologi, yang mana bakteri atau alga hijau biru (Cyanobacteria) memfiksasi nitrogen (N_2) menjadi NH_4^+ (Schlesinger 1997). Menurut Campbell *et al.* (2004) fiksasi nitrogen dilakukan oleh bakteri tanah yang hidup bebas (nonsimbiotik) dan bakteri simbiotik seperti *Rhizobium* dalam nodul akar dalam ekosistem terestrial, serta beberapa Cyanobacteria pemfiksasi nitrogen dalam ekosistem akuatik.

Fiksasi nitrogen mencakup sebagian besar fiksasi nitrogen di atmosfer menjadi amonium, sehingga mewakili kunci utama molekul nitrogen masuk ke dalam siklus biogeokimia nitrogen (Taiz dan Zeiger 2010). Fiksasi nitrogen membutuhkan kondisi anaerob karena oksigen secara ireversibel mengaktifkan enzim nitrogenase yang terlibat dalam fiksasi nitrogen, nitrogen harus tetap dalam kondisi anaerob dan hanya prokariot tertentu yang dapat mengubah nitrogen menjadi mineral yang dapat digunakan untuk mensintesis senyawa organik bernitrogen seperti asam amino (Campbell 2004; Taiz dan Zeiger 2010). Pada Cyanobacteria, kondisi anaerob diciptakan dalam sel khusus yang disebut heterosis. Heterosis adalah sel berdinding tebal yang berdiferensiasi saat Cyanobacteria berfilamen kehilangan NH_4^+ (Taiz dan Zeiger 2010). Cyanobacteria yang kekurangan heterosis dapat memfiksasi nitrogen hanya di bawah kondisi anaerob (Campbell *et al.* 2004; Bowling 2008). Di Asia, kedua tipe Cyanobacteria pengikat nitrogen (heterosis dan non heterosis) merupakan sarana utama untuk mempertahankan nitrogen yang cukup di tanah sawah (Taiz dan Zeiger 2010). Organisme yang memfiksasi nitrogen selain memenuhi kebutuhan metaboliknya sendiri, tetapi akan melepaskan amonia jika kelebihan dan akan menjadi tersedia bagi organisme lain. Fiksasi nitrogen juga dapat digunakan untuk

pembuatan pupuk yang memberikan sumbangan utama dalam *pool* mineral bernitrogen dalam terestrial dan akuatik (Campbell *et al.* 2004). Fiksasi nitrogen menghasilkan produk langsung NH_3 (amonia) dan NH_3 yang dilepaskan ke dalam tanah akan menangkap satu ion hidrogen (H^+) untuk membentuk amonium (NH_4^+) sehingga dapat digunakan secara langsung oleh tumbuhan. NH_3 yang merupakan gas menguap kembali ke atmosfer, kemudian dapat membentuk NH_4^+ di atmosfer akibatnya konsentrasi NH_4^+ dalam curah hujan dapat berkorelasi dengan pH tanah dalam wilayah yang luas. Amonium banyak digunakan oleh tumbuhan, akan tetapi sebagian besar dalam tanah digunakan oleh bakteri aerob tertentu sebagai sumber energi yang memiliki aktivitas dalam mengoksidasi amonium menjadi nitrit (NO_2^-), kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) dan proses ini disebut nitrifikasi. Nitrat yang dilepaskan dari bakteri tersebut dapat diasimilasi oleh tumbuhan dan dapat diubah menjadi bentuk organik seperti asam amino dan protein, sedangkan hewan mengasimilasikannya dengan cara memakan tumbuhan atau hewan lainnya. Meskipun fiksasi nitrogen penting dalam pembentukan *pool* nitrogen yang tersedia, fiksasi nitrogen hanya menyumbangkan sebagian kecil dari nitrogen yang diasimilasikan setiap tahun oleh total vegetasi. Akan tetapi, banyak spesies umumnya tumbuhan bergantung pada asosiasi tersebut (Campbell *et al.* 2004).

Proses perombakan dan penguraian nitrogen organik kembali ke amonium (amonifikasi), sebagian besar dilakukan oleh bakteri dan fungi pengurai (Taiz dan Zeiger 2010). Proses tersebut akan mendaur ulang sejumlah besar nitrogen ke dalam tanah. Nitrogen yang berasal dari residu tanaman dan kotoran hewan menjadi bahan organik bagi tanah yang akan diubah menjadi amonium. Amonium kemudian mengalami nitrifikasi menjadi nitrit kemudian nitrat yang dibantu oleh bakteri penitrifikasi. Nitrat merupakan bentuk senyawa nitrogen yang dapat diserap tanaman, sebagian nitrat akan mengalami denitrifikasi menjadi N_2 kembali ke atmosfer. Siklus nitrogen tersebut akan berulang dalam ekosistem. Secara keseluruhan, sebagian besar siklus nitrogen dalam sistem alami melibatkan senyawa bernitrogen dalam tanah dan air, bukan N_2 atmosfer (Campbell *et al.* 2004).



Gambar 2 Siklus N pada Minipadi

Sumber: Modifikasi gambar dari beberapa sumber (Brooker *et al.* 2011; Hu *et al.* 2013; Li *et al.* 2019; Singh 2008; Taiz dan Zeiger 2010; Xie *et al.* 2011)

Nitrogen masuk ke lingkungan (ekosistem terestrial) melalui aplikasi pupuk yang mengandung mineral nitrogen. Umumnya tanaman akan menyerap nitrat terlebih dahulu dibandingkan amonium. Akan tetapi, tanaman padi lebih menyukai amonium daripada nitrat sebagai sumber nitrogen (Ishii *et al.* 2011), sehingga saat tersedia NH_4^+ dan NO_3^- tanaman padi akan menyerap NH_4^+ lebih cepat dibandingkan dengan NO_3^- (Sasakawa dan Yamamoto 1978). Oleh karenanya pupuk berbasis amonium seperti amonium sulfat dan urea umum digunakan. Pupuk anorganik N (urea) yang diberikan pada penelitian ini berupa urea prill. Urea prill memiliki bentuk butiran kristal putih yang memiliki kadar N 46%, sering diberi selaput untuk mengurangi higroskopis dan tidak terlalu mengasamkan tanah (Hardjowigeno 2010). Menurut Miao *et al.* (2010), tanaman padi hanya menyerap 28.3% dari pupuk N yang diberikan, dan menyerap sekitar 19–47% N dari tanah (Patti *et al.* 2013).

Nitrogen dalam urea harus diubah terlebih dahulu menjadi amonium dan gas CO_2 dengan bantuan enzim tanah urease melalui proses hidrolisis (Hardjowigeno 2010; Singh 2008). Proses hidrolisis akan berlangsung sangat cepat sehingga mudah menguap sebagai amonia bila diberikan ke tanah (Hardjowigeno 2010). Selain itu juga, penguapan (volatilisasi) amonia tergantung pada suhu dan pH, saat suhu tanah dan pH tinggi akan mempermudah proses amonium menjadi amonia (Singh 2008). Nitrifikasi oleh bakteri tanah mengubah amonium menjadi nitrat melalui nitrit (Brooker *et al.* 2011; Hayatsu *et al.* 2008; Singh 2008), kemudian nitrat diasimilasikan pada tanaman padi dan sebagian hilang karena tercuci (Taiz dan Zeiger 2010).

Nitrifikasi dapat dibagi menjadi dua langkah: oksidasi amonia (NH_4^+ menjadi NO_2^-) dan oksidasi nitrit (NO_2^- menjadi NO_3^-). Oksidasi amonia dapat dilakukan oleh *Nitrosomonas* spp. (terdapat pada lingkungan dengan amonia tinggi seperti pada air limbah), *Nitrospira* spp., *Nitrosococcus* spp. (bakteri pengoksidasi amonia utama dalam tanah) (Ishii *et al.* 2011; Bowatte *et al.* 2006). Menurut Li *et al.* (2007) bahwa bakteri pengoksidasi amonia lebih bertanggung jawab di tanah sawah dibandingkan Archaea pengoksidasi amonia. Keragaman bakteri pengoksidasi amonia dipengaruhi oleh tanaman padi (Briones *et al.* 2002). Akan tetapi, di rizosfer padi Archaea pengoksidasi amonia dan bakteri pengoksidasi amonia meningkat setelah aplikasi pupuk urea (Hussain *et al.* 2011). Kemudian, oksidasi nitrit dilakukan oleh bakteri pengoksidasi nitrit (NOB) seperti *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*, dan *Nitrospira* (Hayatsu *et al.* 2008).

Denitrifikasi merupakan proses utama hilangnya N pada tanah sawah (Ishii *et al.* 2011). Denitrifikasi adalah proses mikroba yang mana nitrat direduksi menjadi produk akhir gas (NO , N_2O dan N_2), proses ini pertama kali diketahui oleh Daikuhara dan Imaseki (1907). Denitrifikasi juga merupakan proses utama dalam reduksi nitrat di sawah (Kimura *et al.* 1986). Proses nitrifikasi-denitrifikasi di sawah dapat menyebabkan hilangnya pupuk N dari sawah, namun dapat mencegah pencemaran lingkungan, seperti pencucian nitrat dan emisi gas rumah kaca, nitrous oxide (N_2O) (Ishii *et al.* 2011). Pada penelitian Akiyama *et al.* (2009) dan Nishimura *et al.* (2005) secara in situ menunjukkan bahwa hanya sedikit emisi gas N_2O dari tanah sawah selama penanaman padi. Hal tersebut terjadi karena aktivitas denitrifikasi yang kuat, sedikit emisi gas N_2O menunjukkan bahwa N_2 adalah produk akhir utama denitrifikasi di sawah (Akiyama *et al.* 2006; Nishimura *et al.* 2005). Sedikitnya emisi N_2O di sawah

menunjukkan adanya mikroorganisme pereduksi N_2O dapat membersihkan N_2O yang dihasilkan oleh mikroorganisme lain (Ishii *et al.* 2011). Meskipun proses nitrifikasi dan denitrifikasi dapat menyebabkan N habis di sawah, N di atmosfer juga dapat dimasukkan ke dalam tanah dan rhizosfer melalui fiksasi nitrogen biologis (FNB) (Hirota 1978). Selain itu, Cyanobacteria dan fototrofik yang tumbuh di permukaan air sawah juga dapat memfiksasi N (Watanabe 1982). FNB pada ekosistem persawahan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti jenis tanah, penggunaan bahan kimia (pupuk dan pestisida) dan bahan organik, pengelolaan lahan serta genotipe padi (Ishii *et al.* 2011). Menurut Yoo *et al.* (1991), penerapan jerami padi dengan pupuk anorganik terus-menerus menunjukkan potensi FNB yang tinggi. Pada kondisi pemupukan N yang rendah dapat menyebabkan aktivitas FNB yang kuat di rhizosfer (Ohta *et al.* 1986). Beberapa bakteri pengikat N seperti *Herbaspirillum sp.* dan *Azospirillum sp.* berada dalam tanaman padi sebagai endofit (Kaga *et al.* 2009; Mano dan Morisaki 2008).

N yang hilang karena penguapan NH_3 dan pencucian nitrat dapat dikurangi dengan budidaya bersama (padi-hewan) dan pengurangan aplikasi pupuk N dapat meningkatkan efisiensi penggunaan N (Cheng-Fang *et al.* 2008). Selain itu, N pupuk yang tidak digunakan oleh tanaman padi pada budidaya padi-ikan, dapat dimanfaatkan oleh ikan melalui konsumsi produsen primer akuatik seperti fitoplankton yang nantinya menjadi makanan zooplankton dan akhirnya dikonsumsi oleh ikan (Hu *et al.* 2013; Li *et al.* 2019). Tanaman padi juga mendapatkan sumbangan N dari pakan sebesar 31.8% (Xie *et al.* 2011). Kekurangan N pada tanaman padi dapat dipenuhi dari sisa N pakan yang tidak dimakan melalui degradasi secara tidak langsung, buangan ekskresi dan metabolisme dari ikan, bersamaan dengan sumbangan dari fiksasi N biologis dan bahan organik yang telah dikomposisi oleh dekomposer dapat memenuhi N pada padi dalam budidaya minapadi (padi-ikan), dan sisa pupuk N dapat dimanfaatkan oleh ikan melalui konsumsi primer akuatik (Hu *et al.* 2013). Dengan demikian, budidaya minapadi dapat menjadi solusi dalam mengurangi masalah lingkungan karena hubungan komplementer antara padi dan ikan. Siklus N dalam minapadi dapat dilihat pada Gambar 2.

Nitrogen pada ekosistem akuatik (perairan)

Siklus N pada perairan memiliki proses seperti halnya pada terestrial; diantaranya meliputi fiksasi nitrogen, nitrifikasi, denitrifikasi, dan amonifikasi (Reece *et al.* 2011). Nitrogen masuk ke perairan melalui fiksasi nitrogen dan aktivitas manusia (*run-off* dari pemupukan pada area pertanian atau limbah) (Brooker *et al.* 2011). Pemberian pakan pada budidaya ikan juga menyebabkan masuknya N pada perairan.

Budidaya perairan telah dianggap penyumbang antropogenik emisi N_2O (gas rumah kaca potensial) yang berkontribusi dalam penipisan ozon dan NH_3 pencemar lingkungan, serta keduanya berkontribusi pada perubahan iklim global (Behera *et al.* 2013; Li *et al.* 2019). Penguapan NH_3 diperkirakan 8%–65.7% dari total N yang hilang pada kolam budidaya, akan tetapi bergantung pada suhu dan pH air (Gross *et al.* 2000; Hargreaves 1998). Hal tersebut terjadi karena residu N yang melimpah di kolam dapat menyebabkan polusi N pada badan air melalui



buangan limbah dari budidaya perairan berupa emisi N_2O dan penguapan NH_3 ke atmosfer (Li *et al.* 2019), sisa pakan dan limbah dari ikan berupa buangan ekskresi yang mengandung fosfat, N amonium dan N Amonia (Hu *et al.* 2013). Pakan yang diberikan pada ikan, hanya 25–30% N dan P dalam pakan tersimpan dalam ikan (Bergheim *et al.* 1991), 25–30% tidak dimakan dan terbuang ke lingkungan (Rosenthal *et al.* 1988; NCC 1990). Jumlah N pada budidaya tambak ikan menunjukkan bahwa ikan hanya menyerap 11.6–46.5% dari input N dalam pakan, sisanya tidak tercerna dan dibuang ke air dan dasar kolam (Casillashernandez *et al.* 2006; Hargreaves 1998; Zhang *et al.* 2018).

Pada penelitian Xie *et al.* (2011) menunjukkan bahwa pada budidaya ikan secara monokultur, N pakan diasimilasikan ke dalam tubuh ikan sebesar 14.2% dan 85.8% kembali ke lingkungan sedangkan pada budidaya padi-ikan 11.1% N pakan diasimilasikan ke dalam tubuh ikan, 31.8% sumbangan pada padi dan 57.1% kembali ke lingkungan. N pakan yang tidak dikonsumsi oleh ikan pada budidaya padi-ikan dapat digunakan oleh tanaman padi setelah mengalami degradasi pakan secara tidak langsung (Hu *et al.* 2013). Selain itu, budidaya padi-hewan (padi-ikan, padi-kepiting, padi-lobster air tawar, dan padi-itik) dengan keberadaan ikan, kepiting, lobster air tawar, dan itik mengurangi emisi N_2O secara signifikan (Cheng-Fang *et al.* 2008; Wang *et al.* 2019). Budidaya padi-kepiting mengurangi emisi N_2O sebesar 19.7–28.2% (Wang *et al.* 2019). Pada penelitian Li *et al.* (2019), bahwa jumlah total emisi N_2O dan NH_3 pada budidaya padi-ikan atau udang lebih rendah dari kolam monokultur. Hal tersebut menunjukkan bahwa budidaya padi-ikan dapat mengurangi hilangnya N gas pada kolam budidaya serta dapat mengurangi emisi polutan pada atmosfer.

Padi (*Oryza sativa*)

Padi merupakan salah satu makanan pokok selain ubi jalar, sagu dan kentang. Padi termasuk kepada famili Poaceae dengan genus *Oryza*. Nama umum dari padi ini diantaranya adalah Indonesia: pare (Sunda), padi; pari (Jawa), Filipina: palai, Inggris: *rice* (Plantamor 2016; Soediby 1998).

Morfologi, fisiologi dan fase pertumbuhan tanaman padi

Tanaman padi berbentuk; semak semusim, ± 1 meter. Batang tegak, berbentuk memanjang dan berongga, warna hijau (Soediby 1998). Selain itu, batang terdiri dari beberapa ruas yang dibatasi oleh buku yang menjadi tempat tumbuhnya daun dan tunas. Akar padi termasuk ke dalam golongan akar serabut. Akar primer tumbuh sewaktu berkecambah bersama dengan akar-akar lain yang muncul dari dekat buku *skutellum* (akar seminal), kemudian akar seminal akan digantikan oleh akar sekunder yang tumbuh di bagian terbawah batang yang disebut akar adventif (akar-akar buku). Pertumbuhan dan perkembangan akar ini, dipengaruhi oleh tersedianya N.

Tanaman padi pada umumnya merupakan tanaman semusim dengan empat fase pertumbuhan, yaitu fase vegetatif cepat, vegetatif lambat, reproduktif dan pemasakan. Secara garis besar, tanaman padi terbagi ke dalam dua bagian yaitu bagian vegetatif dan bagian generatif, yang mana bagian vegetatif terdiri dari akar, 26 batang, daun dan bagian generatif terdiri dari malai yang terdiri dari bulir-bulir, daun dan bunga. Tanaman padi memerlukan unsur hara, air dan energi. Unsur

hara merupakan unsur pelengkap dari komposisi asam nukleat, hormon dan enzim yang berfungsi sebagai katalis dalam merombak fotosintesis atau respirasi menjadi senyawa yang lebih sederhana. Air diperoleh tanaman padi dari dalam tanah dan energi diperoleh dari hasil fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari (Tiku 2008).

Pada beberapa varietas padi, perakaran padi seringkali melepas eksudat berupa senyawa organik ke tanah. Senyawa tersebut, dapat memberikan energi yang bermanfaat bagi mikroorganisme dalam tanah, mengkelat Al, Fe dan hara mikro yang diserap tanaman serta dapat memperbaiki struktur tanah. Daun tunggal, bentuk lanset, ujung runcing, berpelepeh warna hijau. Bunga secara keseluruhan disebut malai dan berwarna putih. Tiap unit pada malai disebut spikelet yang pada dasarnya adalah bunga yang terdiri atas tangkai, bakal buah, lemma, palea, putik, dan benang sari dan beberapa organ lainnya. Buah batu, bulat telur, warna kuning tua. Biji keras, warna putih atau merah. Padi memiliki kandungan karbohidrat, zat putih telur, vitamin A, vitamin B kompleks, adenine, kholina dan sitosterin (Chang dan Bardenas 1976; Makarim dan Suhartatik 2009; Murata 1969; Soedibyo 1998; Yoshida 1981).

Varietas yang digunakan pada penelitian ini adalah IPB 3S yang merupakan varietas padi sawah. Potensi yang dapat dihasilkan mencapai 7 ton ha⁻¹. IPB 3S ini baik ditanam di lahan sawah irigasi dan tadah hujan. Morfologi dari varietas ini diantaranya; umur tanaman ±112 hari, bentuk tanaman tegak, tinggi tanaman mencapai ±118 cm dengan anakan produktif 7–11 batang, warna akar, batang daun hijau, muka daun kasar, posisi daun tegak, bentuk gabah ramping panjang, warna gabah kuning bersih, kerontokan sedang, kerebahan tahan, tekstur nasi pulen, kadar amilosa 23%, berat 1000 butir ±28.2 g, tahan terhadap hama tungro, agak dan tahan terhadap penyakit blas ras 033. Padi dengan varietas ini dapat ditanam di sawah irigasi dataran rendah dengan ketinggian 0–600 m dpl (Siregar *et al.* 2013).

Penanaman padi

Penanaman padi pada penelitian ini menggunakan sistem tanam jajar legowo 2:1. Sistem tanam jajar legowo adalah pola tanam yang berselang-seling antara dua atau lebih (biasanya dua atau empat) baris tanaman padi dan satu baris kosong. Istilah “*legowo*” diambil dari bahasa jawa, yaitu berasal dari kata “*lego*” berarti luas dan “*dowo*” berarti memanjang. Legowo diartikan pula sebagai cara tanam padi sawah yang memiliki beberapa barisan dan diselingi satu barisan kosong. Baris tanaman (dua atau lebih) dan baris kosongnya (setengah lebar di kanan dan di kirinya) disebut satu unit legowo. Bila terdapat dua baris tanam per unit legowo maka disebut legowo 2:1, sementara jika empat baris tanam per unit legowo disebut legowo 4:1, dan seterusnya (Abdulrachman *et al.* 2013; KKP 2016).

Pada awalnya tanam jajar legowo diterapkan untuk daerah yang banyak serangan hama dan penyakit, atau kemungkinan terjadinya keracunan besi. Jarak tanam dua baris terpinggir pada tiap unit legowo lebih rapat dari pada baris yang ditengah (setengah jarak tanam baris yang di tengah), dengan maksud untuk mengkompensasi populasi tanaman pada baris yang dikosongkan. Pada baris kosong, di antara unit legowo, dapat dibuat parit dangkal. Parit dapat berfungsi

untuk mengumpulkan keong mas, menekan tingkat keracunan besi pada tanaman padi atau untuk pemeliharaan ikan kecil (muda). Selain itu juga mempermudah pada saat pengendalian hama penyakit, gulma, dan juga pada saat pemupukan (Abdulrachman *et al.* 2013).

Sistem jajar legowo pada prinsipnya memberikan kondisi pada setiap barisan tanam untuk mengalami pengaruh sebagai tanaman pinggir (*border effect*), dan pada umumnya tanaman pinggir menunjukkan hasil yang tinggi daripada tanaman yang berada dalam barisan. Efek tersebut menjadikan tanaman mampu memanfaatkan faktor-faktor tumbuh yang tersedia seperti cahaya matahari, air, CO₂ dengan lebih baik untuk pertumbuhan dan pembentukan hasil karena kompetisi yang terjadi relatif kecil (Harjadi 1979; Suharso 2014). Kondisi ini memberikan peluang cahaya matahari sampai ke permukaan daun lebih banyak sehingga mampu berfotosintesis secara optimal terutama pada bagian pinggir atau lorong (Suharso 2014). Semakin banyak energi cahaya matahari yang dikonversi dalam proses fotosintesis akan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman yang lebih baik sehingga mampu menghasilkan lebih banyak jumlah anakan, anakan produktif juga mampu mengoptimalkan pada pengisian gabah sehingga hasil gabah lebih tinggi (Anggraeni 2013; Irmayanti 2011; Kurniasih *et al.* 2008). Menurut Hanarida (1990) bahwa jumlah anakan produktif yang tinggi tetapi tidak diikuti dengan presentase gabah isi yang tinggi maka hasil yang dicapai pun akan rendah. Dengan demikian, untuk memperoleh hasil tinggi tidak cukup dengan mendapatkan jumlah anakan produktif yang banyak tetapi harus didapatkan presentase gabah isi yang lebih tinggi dibandingkan gabah hampunya. Jarak tanam pada sistem jajar legowo yang lebar dan tidak berhimpitan antara satu tanaman dengan tanaman lainnya menjadikan tanaman lebih sedikit untuk mengalami kompetisi dalam memperoleh cahaya matahari dan unsur hara bila dibandingkan dengan jarak tanam yang rapat. Pada jarak tanam yang rapat, daun tanaman cenderung berhimpitan sehingga tidak maksimal menerima cahaya matahari (Magfiroh *et al.* 2017). Cahaya matahari sangat mempengaruhi laju asimilasi bersih pada tajuk tanaman, dengan adanya daun yang saling menaungi dapat menurunkan laju asimilasi bersih (Tesar 1984).

Cara tanam jajar legowo berpeluang menghasilkan gabah lebih tinggi dan mampu meningkatkan produktivitas tanaman padi dibandingkan dengan cara tanam tegel (Ikhwani *et al.* 2013; Hamdani dan Murtiani 2014). Suparwito (2010) sistem jajar legowo 2:1 dapat meningkatkan produktivitas padi sebesar 25.7–26.9% per hektar dibandingkan sistem tanam tegel biasa di lahan rawa lebak dan lahan sawah irigasi. Sistem jajar legowo 2:1 memberikan hasil gabah per hektar lebih baik (Magfiroh *et al.* 2017). Oleh karena itu, sistem jajar legowo dipercaya dapat meningkatkan produktivitas pada tanaman padi.

Ikan Mas (*Cyprinus caprio L.*)

Ikan mas merupakan jenis ikan air tawar dan banyak diminati baik untuk dikonsumsi ataupun ditenak. Ikan mas termasuk ke dalam famili Cyprinidae dengan genus *Cyprinus* (ITIS 2017). Ikan mas merupakan ikan air tawar yang menyebar dari Eropa ke Asia, kemudian dikenal di seluruh dunia (FishBase 2020). Di Indonesia terdapat beberapa jenis ikan mas diantaranya adalah galur majalaya, galur rajadanu, galur sutisna (Kuningan), galur wildan (Cianjur), galur aki endang

(Cianjur), galur cangkringan (Yogyakarta), galur sanin (Sumbar), galur kanca (Domas), galur karper kaca, galur sinyonya, galur magek (Sumbar) dan bali (Nugroho 2007).

Morfologi ikan mas (Lekha 2015; Rejeki *et al.* 2019)

Morfologi ikan mas pada umumnya memiliki tubuh yang agak memanjang dan sedikit memipih, mempunyai dua belahan yang sama. Secara umum tubuh ikan mas tertutup sisik, meskipun ada jenis ikan mas yang tubuhnya tidak tertutup sisik dengan sempurna, mulut berada di tengah dan bisa disembulkan, pada bagian bibir (*anterior*) terdapat dua pasang sungut barbel yang tidak bergerigi, mulut ikan mas bagian dalam terdapat gigi kerongkongan (*pharyngeal teeth*) sebanyak tiga gigi geraham, sirip punggung terletak sedikit bersebrangan dengan permukaan sirip perutnya. Sirip ekor ikan mas dikenal dengan *emarginate* yaitu ujungnya agak bercabang, sirip punggung dan sirip dubur belakang memiliki bentuk jari-jari yang keras dan bergerigi di bagian ujungnya. Sirip ekor seperti cabang yang memanjang dan simetris sampai ke bagian belakang tutup insang. Ukuran sisik besar dengan tipe sisik lingkaran (*cycloid*) yang beraturan. Gurat sisi (*linea lateralis*) lengkap di bagian tengah tubuh dengan posisi melintang dari tutup insang sampai bagian belakang pangkal ekor, memiliki lambung palsu yang berfungsi sebagai penampung makanan, insang terdiri dari tapis insang, tulang lengkung insang serta lembaran daun insang.

Kebiasaan makan dan makanan ikan mas

Ikan mas disebut sebagai *bottom feeder* (pemakan dasar), karena kebiasaan makannya yang sering mengaduk-ngaduk dasar kolam termasuk dasar pematang untuk mencari jasad-jasad renik (Rejeki *et al.* 2019). Oleh karena itu, sebagian besar tempat makan ikan mas bersifat benthik pada sistem alami (Rahman *et al.* 2010). Ikan mas merupakan ikan omnivora yang utamanya memakan makroinvertebrata benthik (seperti chironomid dan tubificid) dan zooplankton, namun sebagian besar dari makanannya terdiri dari detritus (Garcia-Berthou 2001; Parkos *et al.* 2003; Rahman *et al.* 2009). Hal tersebut didukung oleh penelitian Ma'ruf (1980), yang mana ditemukan dalam lambung ikan mas diantaranya alga (Desmid, *filamentous algae*, *non filamentous algae*), Crustacea, hancuran tanaman, diatom, Oligochaeta, Protozoa, Rotifera, Insekta, dan Mollusca. Selain itu, ikan mas juga banyak memanfaatkan sumber makanan di sawah seperti *duckweed*, zooplankton dan invertebrata benthik (Truruta *et al.* 2011).

Umumnya ikan mas mengabaikan fitoplankton, dan cenderung memilih makroinvertebrata benthik dan zooplankton (Rahman 2008). Akan tetapi menurut Ma'ruf (1980) bahwasanya ikan mas cenderung memakan fitoplankton (*filamentous algae*) dan Crustacea sebagai makanan utama, kemudian hancuran tanaman dan diatom. Perbedaan pola makan ikan mas ini erat kaitannya dengan ketersediaan jenis makanan pada habitatnya dan umur ikan. Menurut Rahman (2015), saat makroinvertebrata benthik tidak tersedia, ikan mas akan menghabiskan sebagian besar waktunya di kolom air, namun saat makroinvertebrata benthik tersedia, ikan mas akan menghabiskan lebih banyak waktu di dasar kolam.

Manfaat pemeliharaan ikan mas bagi lingkungan

Menurut Morgan dan Hicks (2013), ikan mas secara substansial mempercepat transportasi nitrogen dan fosfor dari sedimen dasar ke kolom air melalui ekskresi. Ikan mas dapat memperbaiki oksidasi di dasar tanah dengan mengganggu zona transisi antara dasar tambak dan air di atasnya (Rahman *et al.* 2008; Yathavamoorthi *et al.* 2010), sehingga akan meningkatkan kedalaman dan penetrasi oksigen ke dalam tanah serta meningkatkan dekomposisi dan mineralisasi bahan organik di dasar tanah (Rahman 2015). Ikan mas juga merupakan salah satu jenis ikan yang dapat digunakan sebagai bioindikator yang memiliki nilai ekonomis dan peka terhadap berbagai jenis agen pencemar di perairan tawar (Arfiati *et al.* 2018).

Budidaya ikan mas di sawah

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah, baik terus-menerus sepanjang tahun maupun bergiliran dengan tanaman palawija (Prasetyo dan Setyorini 2008). Sawah memiliki komponen sistem seperti kolam air tenang atau tambak, yakni memiliki pematang, dasar sawah, pintu air dan saluran air yang dimungkinkan memiliki pengairan yang baik dan terkontrol (Effendi 2004). Lahan sawah dapat dimanfaatkan sebagai tempat untuk menanam padi tetapi juga dapat digunakan untuk memelihara ikan. Ada tiga pola pemeliharaan di sawah yaitu:

1. Penyelang

Pemeliharaan ikan sebagai penyelang yaitu dengan memelihara ikan diantara dua musim tanam padi sebagai pengganti palawija di sawah dengan irigasi yang baik atau diantara kegiatan padi, yaitu saat lahan sawah sedang digenangi setelah panen menunggu pengolahan tanah berikutnya, selama penyemaian dan saat lahan sawah digenangi air menunggu penanaman (Effendi 2004; Akbar 2017). Pemeliharaan sebagai penyelang dilakukan dengan tujuan untuk mengembalikan kesuburan tanah dan produktivitas sawah, lama pemeliharaannya sekitar 20–30 hari (Akbar 2017).

2. Palawija

Pemeliharaan ikan sebagai pengganti palawija dapat dilakukan setelah tanam padi dua kali hingga memasuki tanam berikutnya, dengan lama pemeliharaan sekitar 80–90 hari (Akbar 2017). Pola pemeliharaan ini hanya dapat dilakukan apabila pengairan sawah menunjang (Effendi 2004).

3. Pemeliharaan ikan bersama padi

Pemeliharaan ikan bersama padi seringkali disebut minapadi. Lama pemeliharaan ikan pada pola ini tergantung pada tujuan dari penanaman ikan yaitu untuk pendederan atau untuk pembesaran (Akbar 2017). Sistem minapadi sangat baik karena dapat mengefisienkan pemanfaatan lahan, pendapatan petani, meningkatkan produksi benih dan konsumsi ikan, memberikan lapangan pekerjaan lebih banyak bagi petani, mendukung program peningkatan gizi masyarakat, serta meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan bangsa (Effendi 2004). Budidaya ikan di sawah dapat membawa keuntungan bagi tanaman padi, yaitu kotoran ikan dapat menjadi pupuk tambahan bagi padi karena ikan mampu menyediakan pupuk organik internal (Effendi 2004; Suwanto *et al.* 2015). Pemeliharaan ikan bersama padi juga dapat mengurangi gas metan dari sisa

pemupukan, menghemat penggunaan pupuk, memperbaiki struktur tanah karena ikan mencari makanan dengan membolak-balik tanah, meningkatkan potensi lahan sawah yang ada, menekan pertumbuhan gulma, serangan hama dan penyakit, meningkatkan musuh alami bagi tanaman (Akbar 2017; Hu *et al.* 2013; Lazari dan Baldiserotto 2008)

Minapadi merupakan budidaya ikan bersama padi berbeda dengan sistem kolam atau air deras. Budidaya ikan pada sistem kolam atau air deras umumnya lebih dari satu jenis ikan, sedangkan pada minapadi umumnya satu jenis ikan. Jenis ikan yang umum dibudidayakan dalam sistem minapadi adalah ikan mas (*Cyprinus carpio*). Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis ikan adalah volume air, ketersediaan benih, pakan, pasar, dan kebiasaan petani. Pada minapadi, ketinggian air genangan tanaman padi terbatas antara 10–15 cm, dan pada bagian caren (kemalir keliling) ketinggian airnya 20–30 cm (Suriapermana *et al.* 1989).

3 METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai dengan bulan Juli 2018 di Kampung Cisuru, desa Padajaya, Kecamatan Jampangkulon, Sukabumi, Jawa Barat. Analisis hara tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian, Departemen Agonomi dan Hortikultura, IPB. Analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB. Pengamatan plankton dilakukan di Laboratorium Biologi Mikro I, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB.

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini adalah benih padi varietas IPB 3S 25 kg ha⁻¹, benih ikan mas 5 kg ha⁻¹ (5 000 ekor) dengan bobot rata-rata ±7 g per ekor dengan panjang ±7 cm, 200 kg Urea ha⁻¹ atau 92 kg N ha⁻¹, 100 kg SP36 ha⁻¹ atau 36 kg P₂O₅ ha⁻¹, 100 kg KCl ha⁻¹ atau 61 kg K₂O ha⁻¹, pupuk kandang ayam 2 ton ha⁻¹, dolomit 3 ton ha⁻¹, pakan ikan 52.5 kg ha⁻¹, 2–3 mL lugol per 100 mL, pH meter, nitrat meter, DO meter, *grain moisture meter*, SRC (*Sedgwick Rafter Cell counts*), mikroskop binokuler, *hand tally counter*, meteran dan timbangan digital. Dosis pupuk N, P dan K anorganik yang digunakan sesuai dengan dosis anjuran BB Padi (2015).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal dengan 5 taraf perlakuan, terdiri atas: Monokultur padi 100% pupuk anorganik, Monokultur ikan, P3: Minapadi dengan 100% pupuk anorganik, Minapadi dengan 60% pupuk anorganik, dan Minapadi dengan 20% pupuk anorganik. Setiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali, sehingga terdapat 20 unit percobaan. Ukuran tiap satuan percobaan pada penelitian ini adalah 5 m × 5 m (25



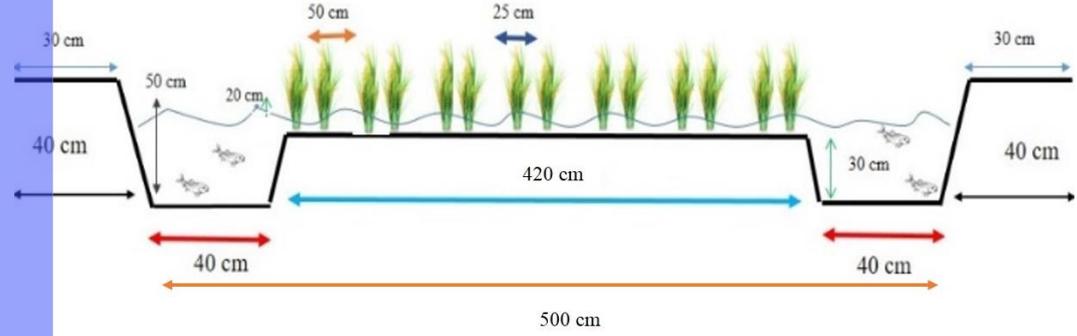
m²) dengan parit keliling untuk memelihara ikan sedalam 30 cm dan lebar 40 cm pada minapadi, dan parit aliran air sedalam 10 cm dan lebar 20 cm pada monokultur padi. Luas lahan efektif untuk ditanam padi pada minapadi adalah 17 m² atau sekitar 68%.

Prosedur Percobaan

Persiapan lahan

Minapadi

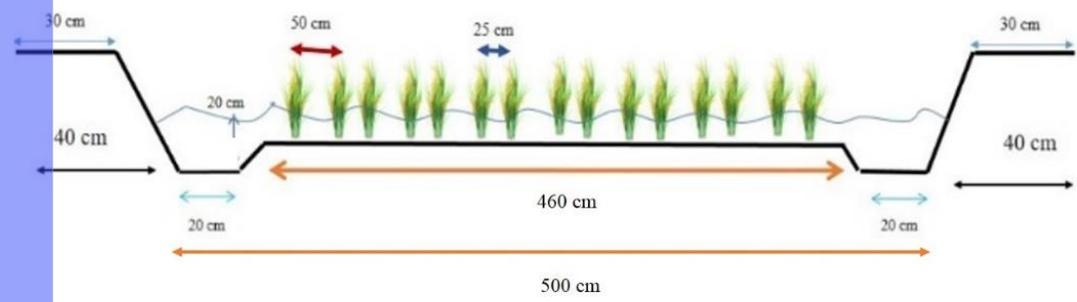
Persiapan lahan diawali dengan membersihkan gulma pada pematang, kemudian tanah diolah sempurna melalui pembajakan sampai kedalaman 15–20 cm. Setelah itu, tanah diratakan dan dibuat pematang yang padat dan kokoh agar tidak mudah bocor serta secara berkala dilapisi dengan lumpur, kemudian dibuat parit keliling (kemalir) yang berfungsi sebagai media hidup ikan, tempat memberi makan ikan (Gambar 3). Kemudian, dilakukan perbaikan saluran pemasukan juga pengeluaran dan lengkapi dengan saringan dari jaring.



Gambar 3 Ilustrasi Petak Percobaan Minapadi

Monokultur padi

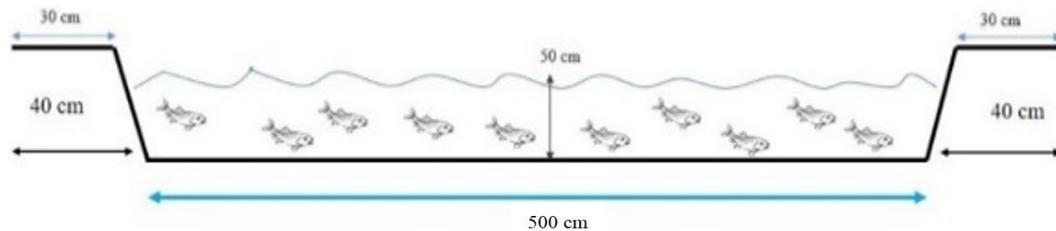
Persiapan lahan pada monokultur padi yang dilakukan sama halnya dengan minapadi diantaranya yaitu; membersihkan gulma dan mengolah tanah. Tanah diolah dengan sempurna sampai kedalaman 15–20, hanya saja tidak dibuat parit keliling (Gambar 4). Pengolahan lahan ini dilakukan sebanyak dua kali yaitu; dua dan satu minggu sebelum tanam.



Gambar 4 Ilustrasi Petak Percobaan Monokultur Padi

Monokultur ikan

Persiapan lahan yang dilakukan pada monokultur ikan diantaranya adalah menyiapkan wadah (kolam) untuk pemeliharaan ikan (Gambar 5). Persiapan wadah meliputi; 1) pengeringan dasar kolam berlangsung sekitar 3 minggu, 2) pengangkatan lumpur, 3) perbaikan pematang dan pintu air, 4) pemberian dolomit, 5) pemupukan, 6) pengisian air. Lama persiapan berlangsung sekitar 4 minggu, dikarenakan kondisi cuaca.



Gambar 5 Ilustrasi Petak Percobaan Monokultur Ikan

Pemilihan benih padi dan bibit ikan

a. Benih padi

1. Benih bermutu

Benih padi yang digunakan adalah benih padi bermutu dan bersertifikat dengan vigor yang tinggi. Maka dari itu benih padi yang digunakan adalah benih padi IPB 3S.

2. Memilih benih yang baik

Memilih benih yang baik dilakukan dengan merendam benih padi dalam larutan garam sebanyak 20 g per liter. Kemudian benih yang mengambang atau mengapung dibuang.

3. Bibit

Memilih bibit tua karena tempat penelitian termasuk daerah endemis keong mas.

4. Persiapan pembibitan

Pembibitan dilakukan dengan pemilahan benih yang berisi penuh dan yang setengah berisi, sebelum disebarkan benih padi dibilas agar tidak mengandung garam. Kemudian direndam 24 jam dan setelah itu, ditiriskan selama 48 jam. Bedengan pembibitan dibuat dengan lebar 1 m dengan panjang 200 m² untuk ditebari 10 kg benih. Setelah itu, bedengan pembibitan dipasang bambu yang sudah dilengkungkan dan diletakkan di bagian samping agar terhindar dari serangan babi. Saat benih siap untuk dibibitkan, siapkan pembibitan dengan mencampurkan 2 kg bahan organik seperti kompos, pupuk kandang dan abu. Penambahan bahan organik ini bertujuan untuk memudahkan pencabutan bibit padi sehingga kerusakan akar berkurang.

b. Bibit ikan

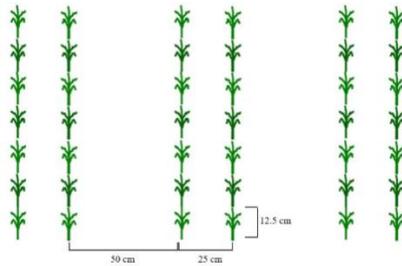
Bibit ikan yang digunakan adalah ikan mas dengan rata-rata panjang ± 7 cm dan memiliki rata-rata bobot ± 7 g per ekor.

Aplikasi perlakuan

1. Teknik budidaya padi

Penanaman

Penanaman padi yang dilakukan menggunakan sistem jajar legowo 2:1, yaitu terdapat dua baris per unit legowo. Penanaman jenis perlu diperhatikan tingkat kesuburan tanah pada penerapannya. Jarak tanam padi yang akan dilakukan adalah 50 cm sebagai jarak antar barisan (lorong), 25 cm antar rumpun dalam baris, dan 12.5 cm jarak dalam baris atau ditulis (50 cm × 25 cm × 12.5 cm) (Gambar 6). Populasi dalam sistem penanaman ini yaitu 4 bibit setiap rumpun.



Gambar 6 Ilustrasi jarak tanam padi jajar legowo 2:1

Sumber: (Abdulrachman *et al.* 2013)

Pemupukan pada padi

Pemupukan yang dilakukan pada tanaman menggunakan dosis sesuai perlakuan dengan 200 Urea ha⁻¹ atau (CO(NH₂)₂) dengan 92 kg N ha⁻¹ atau 230 g N per 25 m², SP 36 kg 100 ha⁻¹ atau 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ atau 90 g P₂O₅ per 25 m², 100 kg KCl ha⁻¹ atau 61 kg K₂O ha⁻¹ atau 153 g K₂O per 25 m², pupuk yang digunakan menggunakan dosis anjuran BB Padi (2015).

Pemupukan dilakukan 14 dan 45 hari setelah tanam (HST). Hal ini, berdasarkan rekomendasi waktu yang tepat untuk pemberian N, P dan K menurut Buresh (2006). Adapun jumlah pupuk yang dibutuhkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Perlakuan dosis pupuk dalam setiap perlakuan pada padi

No	Jenis pupuk	Dosis	Dosis pupuk (kg ha ⁻¹)
1	N	100%	92
		60%	55.2
		20%	18.4
2	P ₂ O ₅	100%	36
		60%	22
		20%	7
3	K ₂ O	100%	61
		60%	37
		20%	12

Pemeliharaan pada padi

- a) **Penyulaman**
Penyulaman dilakukan 1–2 minggu setelah tanam (MST). Penyulaman dilakukan terhadap bibit tanaman yang mati dan memiliki kualitas yang kurang baik.
- b) **Pengairan**
Pengairan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengairan berselang. Pengairan berselang adalah pengaturan kondisi lahan dalam kondisi kering dan tergenang secara bergantian. Hal tersebut bertujuan untuk menghemat air, memberi kesempatan kepada akar untuk mendapatkan udara sehingga berkembang lebih dalam, mencegah keracunan besi, mencegah penimbunan gas dan asam organik yang menghambat akar, mengaktifkan mikroba tanah, mengurangi kerebahan, menyeragamkan gabah dan mempercepat waktu panen, memudahkan membenamkan pupuk ke dalam tanah, dan memudahkan pengendalian keong mas, wereng coklat dan penggerek batang, juga mengurangi kerusakan padi karena tikus (Abdulrachman *et al.* 2013). Pengelolaan air dapat dilakukan dengan melakukan pergiliran air selang 3 hari. Tinggi genangan sekitar 3 cm dan 2 hari selanjutnya tidak ada penambahan air. Kemudian diairi lagi pada hari keempat. Pengairan ini berlangsung sampai anakan maksimal. Namun, pengairan tersebut disesuaikan dengan kondisi dalam perlakuan, terutama untuk petakan yang menggunakan sistem minapadi. Pada fase pembentukan malai sampai pengisian petakan sawah digenangi terus. Saat ikan ditebar ketinggian air dipertahankan sama yaitu 20 cm di atas permukaan tanah, baik pada monokultur maupun minapadi
- c) **Pengendalian gulma, hama dan penyakit**
Pengendalian gulma, hama dan penyakit dilakukan sejak tanaman berumur 2 minggu setelah tanam (MST) hingga menjelang panen. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan sesuai dengan tingkat serangan pada tanaman. Berikut beberapa cara pengendalian gulma, hama dan penyakit pada tanaman padi: Pertama, pengendalian gulma dilakukan dengan cara pengolahan tanah sempurna, mengatur air di petakan sawah, menggunakan padi yang bersertifikat. Pengendalian gulma dilakukan dengan cara mekanik seperti pembabatan dengan parang. Kedua, pengendalian hama dan penyakit secara terpadu. Hama dan penyakit termasuk ke dalam cekaman biotik yang dapat mengurangi hasil bahkan dapat menyebabkan gagal panen. Maka dari itu, untuk mengurangi serangan hama dan penyakit dilakukan usaha dalam mengendalikannya dengan memperhitungkan faktor ekologi, ekosistem, stabilitas dan kesinambungan produksi sebagai dasar pertimbangannya sesuai dengan praktek pertanian yang baik (*Good Agriculture Practice*) sehingga pengendalian yang dilakukan tidak terlalu mengganggu keseimbangan alami dan tidak menimbulkan kerugian (Effendi 2009, Abdulrachman *et al.* 2013).
- d) **Cara mengendalikan hama:**
Hama yang ditemukan pada area penelitian diantaranya adalah pelipat daun (*Cnaphalocrosis medinalis*), penggerek batang padi, walang sangit, wereng, tikus sawah dan keong mas. Cara pengendalian hama tersebut dilakukan

dengan; (1) membersihkan lahan dari gulma, dan menggunting daun yang terkena serangan hama pelipat daun, (2) mencabut batang padi yang diserang penggerek batang yang terlihat kering kemudian matikan larva di dalamnya dengan bambu, (3) menggantung bangkai reptil seperti katak di sekitar tanaman padi yang diserang oleh walang sangit, (4) menanam padi dengan jajar legowo, menanam tanaman *intercropping* seperti bunga marigold (*Tagetes erecta* L.) dan tanaman sereh (*Cymbopogon nardus* L. Reandie) di pematang agar menjadi inang dari musuh alami bagi hama wereng, (5) meletakkan buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) di area yang dilewati atau di mulut sarangnya (Nursyamsi *et al.* 2013), dan menutup lubang yang dijadikan sarang oleh tikus, serta (6) membersihkan telur-telur keong yang sudah ada di area sawah, mengambil dan memusnahkan keong mas secara berkala, menyebar benih sulaman, dan mengumpan dengan daun pepaya. Insektisida nabati yang bersumber dari tumbuhan serai wangi (*Cymbopogon nardus* L. Reandie) digunakan untuk mengendalikan hama pelipat daun, dan insektisida sintetis untuk hama walang sangit.

Panen padi

Pemanenan pada padi dilakukan pada saat padi 90% sudah matang secara fisiologis yaitu ditandai dengan menguningnya bulir padi.

2. Teknik budidaya ikan

Pemupukan kolam tanah

Pemupukan dilakukan setelah pemberian dolomit 3 ton ha⁻¹ pada kolam, kemudian pemupukan dengan menggunakan pupuk kandang ayam sebanyak 2 ton ha⁻¹ (Tabel 2). Pemberian pupuk kandang ayam ini dilakukan agar dapat merangsang aktivitas organisme dalam tanah, mempercepat pertumbuhan plankton sebagai pakan alami dalam budidaya ikan.

Tabel 2 Perlakuan dosis dolomit dan pupuk kandang pada kolam ikan

No	Jenis pupuk	Dosis (g per m ²)	Total dosis (ton ha ⁻¹)
1	Dolomit	300	3
2	Pupuk kandang ayam	200	2

Penebaran

Penebaran ikan dilakukan saat padi sudah mengeluarkan 90% malai yaitu pada 10 MST (minggu setelah tanam). Hal tersebut dilakukan karena tempat penelitian telah lama tidak digunakan dalam budidaya minapadi dan dalam kondisi lingkungan yang semi alami, sehingga menjadi pertimbangan secara ekologi. Padat penebaran ikan sebanyak 2 ekor per m² dengan panjang ±7 cm dan bobot rata-rata ±7 g per ekor. Kemudian ikan secara berkala diberikan pakan.

Pemeliharaan

a. Pemberian pakan

Pemeliharaan ikan dilakukan selama 30 hari dan disesuaikan dengan umur padi siap panen serta secara berkala diberikan pakan tambahan berupa pelet halus dan dedak dengan dosis 5% dari bobot biomassa per hari baik pada monokultur ikan ataupun minapadi. Pemberian pakan disesuaikan dengan ukuran dan bobot rata-rata dari ikan serta *feeding rate* atau jumlah pakan (%), maka diperoleh kebutuhan pakan per harinya adalah 0.28 kg. Pakan berupa pelet yang digunakan adalah TNA-2 (Tenar 2) merupakan jenis pakan terapung yang memiliki protein 13–15%, lemak minimal 4%, serat kasar 9%, abu 4%, dan kadar air maksimal 12%. Selain pelet, pakan yang digunakan juga adalah dedak padi. Dedak padi merupakan hasil sampingan padi menjadi beras. Kandungan nutrisi dedak padi hasil penggilingan di Indonesia mengandung protein kasar sebesar 12.7%–13.5% dan serat kasar 8.2%–12.2% (Sukria dan Krisnan 2009). Menurut SNI no. 01-3718 (2013) bahwa dedak padi yang berkualitas tinggi memiliki kandungan kadar air maksimal 13%, abu maksimal 11%, protein kasar minimal 12%, serat kasar maksimal 12% dan kadar sekam maksimal 5%. Kualitas pada dedak padi yang dihasilkan sangat bervariasi dipengaruhi oleh varietas padi dan proses penggilingannya (Sukria dan Krisnan 2009). Kedua faktor tersebut tidak hanya mempengaruhi kualitas dedak padi secara fisik namun juga mempengaruhi komponen nutrisi di dalamnya.

b. Pengelolaan air

Monitoring kualitas air dilakukan agar kualitas air sesuai dengan standar pemeliharaan ikan. Pengelolaan air dibutuhkan agar kebutuhan suplai oksigen (O₂) terpenuhi.

c. Penanggulangan hama

Penanggulangan hama dilakukan agar meminimalisir kerugian secara ekonomi. Hama ikan terdiri beberapa kelas diantaranya kelas dari golongan reptil seperti biawak (*Varanus*) dan ular (*Malayopython reticulatus*). Kelas aves seperti burung ayam-ayaman (*Gallixrex cinerea*) serta dari kelas mamalia seperti sero (*Lutra lutra*) (Basto *et al.* 2011; Broyer *et al.* 1988; Heggberget dan Moseid 1994; Lanszki *et al.* 2009; Mirzaei *et al.* 2014). Cara penanggulangan hama tersebut dilakukan secara mekanik yaitu dengan pemasangan jaring dan pagar bambu yang dipasang di sekeliling area pemeliharaan ikan, dipancing dengan umpan dan dilakukan pembakaran pada tempat hewan tersebut membuang kotoran serta pemberian penerangan di sekeliling area yang dipakai untuk memelihara ikan. Secara kimiawi, menggunakan bahan kimia yang dimasukkan ke dalam umpan yang dijadikan untuk meracuni hama.

Panen

Panen ikan dilakukan sebelum panen padi pada minapadi dan setelah panen padi pada monokultur ikan dengan masa pemeliharaan selama 30 hari. Panen ikan ini dilakukan dengan membuang air dari petakan padi pada pagi dan sore hari pada saat suhu rendah untuk menghindari stres pada ikan dan juga memudahkan dalam memanennya.

Peubah pengamatan yang dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Analisis tanah

Analisis tanah dilakukan sebelum pengolahan lahan dan diakhir perlakuan (setelah panen). Tanah yang diambil untuk analisis awal yaitu bagian *topsoil* pada kedalaman 20 cm secara komposit sehingga didapat sebanyak 1 kg. Tanah yang diambil untuk analisis akhir, yaitu bagian *topsoil* pada kedalaman 20 cm secara komposit sebanyak 1 kg setiap perlakuan. Analisis tanah yang dilakukan meliputi: pH, C-Organik, N-Total, KTK, P-Total dan K-Total. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kesuburan tanah dan bobot isi tanah (kandungan senyawa kimia yang terdapat pada tanah).

2. Analisis air

Analisis air dilakukan sebelum pengolahan dan diakhir perlakuan atau dapat dilakukan setelah panen. Air yang diambil sebanyak 1 L (1000 mL). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari air yang akan dan telah digunakan untuk budidaya ikan. Kualitas air ini meliputi: EC (*Electrical Conductivity*), TDS (*Total Dissolved Solids*), TSS (*Total Suspended Solids*), TOM (*Total Organic Matter*), serta untuk pH, nitrat (NO_3^-), dan DO (*Dissolved Oxygen*) analisis dilakukan di lapangan dengan menggunakan pH meter, nitrat meter dan DO meter.

3. Analisis plankton

Plankton merupakan mikroorganisme akuatik yang hidup melayang pada perairan, tidak dapat bergerak atau sedikit bergerak dan tidak dapat melawan arus. Keberadaan plankton, baik fitoplankton ataupun zooplankton di perairan akan menjadi komponen yang berperan pada ekosistem perairan.

a. Pengambilan sampel plankton

Pengambilan sampel plankton dilakukan pada perairan sawah dengan kelima perlakuan. Pengambilan sampel plankton dilakukan ± 7 hari setelah padi dipanen dari tiap petak percobaan menggunakan ember dengan kapasitas 5 liter dengan 4 kali penyaringan sehingga total 20 liter ke dalam jaring plankton (*plankton net*). Hasil penyaringan tersebut didapatkan sebanyak 100 mL, lalu dimasukkan ke dalam botol sampel yang telah diberi label. Kemudian, sampel tersebut diawetkan dengan larutan lugol 2–3 mL atau sampai berwarna coklat seperti air teh.

b. Pengamatan plankton

Pertama, teteskan sampel yang telah diawetkan pada *object glass SRC* (*Sedgwick Rafter Cell counts*) kemudian tutup dengan *cover glass*. Kedua, letakkan sampel di meja objek, amati di bawah lensa objektif dengan pembesaran 10×10 kemudian 40×10 . Ketiga, gambar semua plankton yang ditemukan, hitung, dan identifikasi namanya berdasarkan Bellinger dan Sigeo (2010), Bowling (2008), Mizuno (1987), Kumar dan Sahu (2012), Kobayashi *et al.* (2008) dan Vuuren *et al.* (2006).

c. Menghitung kelimpahan plankton

Kelimpahan adalah jumlah individu plankton per volume air. Penentuan kelimpahan berdasarkan sapuan diatas SRC. Kelimpahan plankton dihitung dengan rumus berdasarkan APHA (1989) yaitu:

$$N = (O_i \div O_p \times V_r \div V_o \times 1 \div V_s \times n \div p)$$

Keterangan:

- N = Jumlah individu L⁻¹
- O_i = Luas gelas penutup preparat (mm²)
- O_p = Luas satu lapangan pandang (mm²)
- V_r = Volume air yang tersaring (mL)
- V_o = Volume air yang diamati (mL)
- V_s = Volume air yang disaring (L)
- n = Jumlah sel yang diamati
- P = Jumlah lapangan pandang yang teramati

d. Menghitung keragaman plankton

Indeks keragaman (H') plankton menggunakan indeks *Shannon-Wiener* berdasarkan rumus (Odum 1993) yaitu:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Keterangan:

- H' = Indeks Shannon
- p_i = (n_i ÷ N) Peluang kepentingan untuk spesies
- n_i = Jumlah individu spesies ke-1
- N = Jumlah total individu

Kriteria nilai indeks keragaman *Shannon-Wiener* berdasarkan Magurran (1988) H' < 1 = keragaman rendah, 1 < H' < 3 = keragaman sedang, dan H' > 3 = keragaman tinggi.

e. Menghitung Indeks dominansi plankton

Indeks dominansi (C) digunakan untuk mengetahui ada tidaknya spesies yang cenderung dominan dalam suatu komunitas. Indeks dominansi menggunakan rumus berdasarkan Odum (1993), yaitu:

$$C = \sum_{i=1}^n (p_i)$$

Keterangan:

- C = Indeks dominansi
- p_i = (n_i ÷ N) Peluang kepentingan untuk spesies
- n_i = Jumlah individu spesies ke-1
- N = Jumlah total individu

Nilai indeks dominansi berkisar antara 0–1, jika mendekati 1 dapat diartikan bahwa ada spesies yang dominan, dan jika mendekati 0, maka tidak ada spesies yang dominan dalam suatu komunitas.

4. Peubah pengamatan pada tanaman padi:

a. Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang tanaman yang nampak pada permukaan tanah hingga daun tertinggi dan diamati mulai dari umur 3 MST sampai dengan 7 MST.

b. Jumlah gabah berisi per rumpun
Jumlah gabah berisi ditimbang dari setiap sampel rumpun pada setiap perlakuan.

c. Jumlah gabah hampa per rumpun
Jumlah gabah hampa ditimbang dari setiap sampel rumpun pada setiap perlakuan.

d. Bobot gabah berisi per rumpun
Bobot gabah berisi dihitung dari setiap sampel rumpun pada setiap perlakuan

e. Bobot gabah hampa per rumpun
Bobot gabah hampa dihitung dari setiap sampel rumpun pada setiap perlakuan

f. Persen gabah berisi (%)
Pengamatan ini dilakukan setelah panen dengan memisahkan antara gabah berisi dengan gabah hampa. Setelah terpisah, kemudian gabah berisi dihitung dan dipersentasekan dengan menggunakan rumus (Purwanto *et al.* 2017; Sutrisna *et al.* 2012) yaitu:

$$\text{Presen gabah berisi} = (\text{jumlah gabah berisi} \div \text{jumlah gabah total}) \times 100\%$$

g. Persen gabah hampa (%)
Pengamatan ini dilakukan setelah panen dengan memisahkan antara gabah berisi dengan gabah hampa. Setelah terpisah, kemudian gabah hampa dihitung dan dipersentasekan dengan menggunakan rumus yaitu:

$$\text{Presen gabah hampa} = (\text{jumlah gabah hampa} \div \text{jumlah gabah total}) \times 100\%$$

h. Hasil ubinan dan dugaan hasil per hektar (ton ha⁻¹)
Hasil ubinan yang berukuran 2.5 m × 2.5 m (6.25 m²) dari tiap perlakuan. Dugaan hasil ubinan GKP ke dalam satuan hektar dapat dihitung dengan rumus (Purwanto *et al.* 2017): Produktivitas GKP= Hasil ubinan × (Luas 1 ha ÷ luas ubinan). Selanjutnya, produktivitas GKG dihitung dengan rumus ((100-19)/(100-13))* bobot GKP. Angka 19 pada rumus merupakan kadar air GKP dan 13 kadar air GKG.

Peubah pengamatan pada ikan:

a. Kelangsungan hidup (*Survival Rate*)
Kelangsungan hidup ikan dihitung dengan menggunakan rumus (Effendie 1979) yaitu:

$$SR = (N_t \div N_o) \times 100\%$$

Keterangan:

- SR = Kelangsungan hidup atau *Survival rate* (%)
- N_t = Jumlah populasi ikan pada akhir penelitian (ekor)
- N_o = Jumlah ikan pada awal penelitian (ekor)

b. Pertambahan panjang mutlak
Panjang ikan dihitung dengan menggunakan rumus (Effendie 1979) yaitu:

$$P = P_t - P_o$$

Keterangan:

- P = Panjang ikan (cm)
- P_t = Panjang ikan pada akhir penelitian (cm)
- P_o = Panjang ikan pada awal penelitian (cm)

- c. Pertumbuhan bobot mutlak (g)
Bobot ikan diukur pada awal dan akhir penelitian dengan menggunakan rumus (Effendie 1997) yaitu:

$$W = W_t - W_o$$

Keterangan:

- W = Bobot ikan (g)
W_t = Bobot ikan pada akhir penelitian (g)
W_o = Bobot ikan pada awal penelitian (g)

- d. Rasio konversi pakan (*Feed Conversion Ratio*)

Rasio konversi pakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Effendie 1979) yaitu:

$$FCR = \frac{F}{(W_t + D) - W_o}$$

Keterangan:

- FCR = Rasio konversi pakan/*Feed Conversion Ratio*
W_t = Bobot ikan pada akhir penelitian (g)
W_o = Bobot ikan pada awal penelitian (g)
D = Jumlah ikan yang mati (hari)
F = Jumlah pakan yang diberikan (gr)

- e. Jumlah pakan/kg.
Jumlah pakan dihitung dari awal-akhir penelitian berdasarkan rumus (Effendi 2004) yaitu:

$$\text{Jumlah pakan (kg)} = FR \times BM$$

Keterangan:

- FR = *Feeding rate* atau jumlah pakan (%)
BM = Bobot Biomassa/kg

- f. Produksi ikan
Produksi ikan dihitung dengan rumus:

$$\text{Produksi} = \text{Bobot biomassa akhir} \times \left(\frac{\text{Luas 1 hektar}}{\text{luas kolam pemeliharaan}} \right)$$

5. Analisis Pendapatan

Untuk mengetahui produktivitas dan pendapatan usaha tani dilakukan dengan menghitung pendapatan, biaya (pengeluaran) dan keuntungan. Tingkat keberlanjutan sistem tumpang sari (minapadi) ditentukan dengan analisis *Benefit/Cost ratio* (B/C *ratio*). Sistem usaha tani layak dikembangkan ditentukan dengan R/C *ratio*. Jika B/C *ratio* ≥ 1 artinya usaha tani layak untuk dikembangkan dan jika R/C *ratio* ≥ 1 artinya usaha tani menguntungkan (Hariance *et al.* 2018).

- a. Rumus B/C *ratio*

$$\text{Ratio} = \text{Benefit} \div \text{Cost}$$

Keterangan:

- B = *Benefit* (Keuntungan)
C = *Cost* (Pengeluaran)

- b. Rumus R/C *ratio*

$$\text{Ratio} = \text{Revenue} \div \text{Cost}$$

Keterangan:

R = *Revenue* (Pendapatan)

C = *Cost* (Pengeluaran)

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis dengan uji F menggunakan aplikasi SAS 9.4 untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan terhadap peubah yang diamati. Apabila terjadi beda nyata maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) taraf 5% pada peubah padi dan 10% pada peubah ikan.

Model linier yang digunakan pada penelitian ini menurut Mattjik dan Sumertajaya (2013) adalah sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

i = 1, 2, ..., t dan j=1, 2, ..., r

Y_{ij} = Nilai pengamatan pada perlakuan dosis pupuk anorganik taraf ke-i dan kelompok ke-j

μ = Nilai rata-rata umum atau nilai tengah umum

τ_i = Pengaruh perlakuan dosis pupuk anorganik taraf ke-i

β_j = Pengaruh kelompok ke-j

ϵ_{ij} = Pengaruh acak pada perlakuan dosis pupuk anorganik taraf ke-i dan kelompok ke-j

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hara Tanah Awal

Analisis hara tanah awal dilakukan sebelum penelitian. Hasil analisis tanah awal menunjukkan bahwa pH tergolong kriteria tanah agak alkalis, KTK tergolong kriteria tanah tinggi, C organik tergolong kriteria tanah sedang, N total tergolong kriteria tanah sedang, P total tergolong kriteria tanah sangat tinggi, dan K total tergolong tanah sangat tinggi (Sulaeman *et al.* 2005).

Nilai pH tergolong agak alkalis karena memiliki nilai lebih dari 7 yaitu 8.09 (Sulaeman *et al.* 2005). Hal tersebut disebabkan oleh adanya kandungan OH⁻ lebih banyak dariada H⁺ (Hardjowigeno 2010). Nilai pH tanah yang cocok untuk tanah sawah yaitu 4–7, meskipun pada umumnya pH di Indonesia berkisar 3–9 (Dent 1978; Hardjowigeno 2010). Nilai pH tanah berpengaruh terhadap produktivitas padi, karena pH tanah menentukan ketersediaan unsur hara tanah, serta mempengaruhi aktivitas dan perkembangan mikroorganisme di dalam tanah (Nisa 2018).

KTK tergolong tinggi karena memiliki nilai dalam kisaran 25–40 cmol (+) per kg yaitu sebesar 31.36 cmol (+) per kg (Sulaeman *et al.* 2005). Menurut Hardjowigeno (2010) KTK merupakan sifat kimia yang sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Tanah dengan KTK tinggi mampu menyerap dan menyediakan unsur hara lebih baik daripada tanah dengan KTK rendah.

C organik tergolong sedang karena memiliki nilai dalam kisaran 2–3% yaitu 2.34% (Sulaeman *et al.* 2005). Bahan organik merupakan seluruh karbon yang di dalam tanah yang berasal dari sisa-sisa tanaman atau tumbuhan dan hewan yang telah mati (Munawar 2013). C organik (bahan organik) dapat mempengaruhi sifat-sifat tanah sehingga juga dapat mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman. Adapun pengaruh bahan organik terhadap sifat-sifat tanah diantaranya adalah dapat memperbaiki struktur tanah, sumber unsur hara (N, P, S, unsur mikro dan unsur-unsur lainnya), menambah kemampuan tanah untuk menahan air, menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur-unsur hara (KTK menjadi tinggi), dan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme (Hardjowigeno 2010).

N total tergolong sedang dengan nilai dalam kisaran 0.21–0.5% yaitu sebesar 0.30% (Sulaeman *et al.* 2005). Unsur N dalam tanah berasal dari bahan organik tanah, pengikatan oleh mikroorganisme, pupuk anorganik, serta air hujan (Hardjowigeno 2010; Campbell *et al.* 2004). Nitrogen tersedia bagi tumbuhan hanya dalam bentuk dua mineral yaitu NH_4^+ (amonia) dan NO_3^- (nitrat), tetapi dalam tanah umumnya dalam bentuk nitrat (Campbell *et al.* 2004; Marschner 2012).

P total tergolong sangat tinggi dengan nilai sebesar 191.07 mg P_2O_5 per 100 g (Sulaeman *et al.* 2005). Hal tersebut diduga karena tanah sawah kaya akan kandungan unsur P dan bahan organik. Unsur P dalam tanah berasal dari desintegrasi mineral yang mengandung P seperti apatit, dan dekomposisi bahan organik, serta pupuk anorganik buatan (Munawar 2013). Selain itu juga, kandungan P yang tinggi dapat disebabkan oleh pH tanah yang tergolong agak alkalis sehingga P dalam tanah tidak diserap tanaman karena difiksasi (diikat) oleh Ca. Menurut Hardjowigeno (2010) bahwa pada tanah masam unsur P tidak dapat diserap tanaman karena difiksasi oleh Al, sedang pada tanah alkalis unsur P tidak dapat diserap tanaman karena difiksasi oleh Ca. Tanaman menyerap P dalam bentuk fosfat (HPO_4^{2-}) melalui akar (Brooker *et al.* 2011; Taiz dan Zeiger 2010).

K total tergolong sangat tinggi dengan nilai sebesar 62.86 mg K_2O per 100 g. Hal tersebut diduga karena kadar K dalam tanah sawah sudah tinggi sehingga K total tergolong sangat tinggi. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa tanah pada lokasi penelitian bila berdasarkan kriteria Sulaeman *et al.* (2005) tergolong ke dalam tanah yang subur. Meskipun K yang ditemukan tinggi dalam tanah, tetapi hanya sebagian kecil yang dapat digunakan oleh tanaman (Hardjowigeno 2010). Unsur K memiliki peranan diantaranya adalah pembentukan pati, pembukaan stomata, proses fisiologis dalam tanaman, proses metabolik dalam sel, mempengaruhi penyerapan unsur-unsur lain, mempertinggi daya tahan terhadap kekeringan dan penyakit, perkembangan akar aktivator enzim yang berperan dalam fotosintesis dan untuk transport asimilat (Marschner 2012). Ketersediaan hara K bagi tanaman dipengaruhi oleh jenis tanah, kadar liat, jenis mineral, kadar bahan organik, dan kondisi iklim (Marschner 2012).

Analisis Hara Tanah Akhir

Analisis hara tanah akhir dilakukan setelah panen dan dapat secara lengkap pada Lampiran 5. Nilai pH H_2O tergolong masih tergolong agak alkalis karena ≥ 7 (Sulaeman *et al.* 2005). Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa pH mengalami sedikit

penurunan nilai secara keseluruhan di setiap perlakuan dari 8.09 menjadi ≤ 8 yaitu dengan rata-rata 7.73–7.78.

KTK tergolong tinggi sampai sangat tinggi karena memiliki nilai dalam kisaran 25–40 cmol (+) per kg dan ≥ 40 cmol (+) per kg (Sulaeman *et al.* 2005). KTK mengalami kenaikan nilai secara keseluruhan di setiap perlakuan dari 11.36 cmol (+) per kg menjadi 35.21–41.99 cmol (+) per kg (Tabel 4). Kenaikan KTK diduga karena adanya penambahan pupuk anorganik yang diberikan pada tanaman padi dan dari sisa pakan, feses serta metabolisme ikan pada perlakuan. Hal tersebut sejalan dengan Gunawan *et al.* (2019) bahwa penambahan pupuk menjadi salah satu sebab naiknya kandungan KTK pada tanah.

C-organik tergolong sedang karena memiliki nilai dalam kisaran 2–3% (Sulaeman *et al.* 2005). C-organik mengalami kenaikan nilai secara keseluruhan di setiap perlakuan dari 2.34% menjadi 2.57–2.68%. Hal tersebut diduga karena tanah yang dianalisis merupakan *top soil* yang banyak mengandung bahan organik, adanya aplikasi pupuk anorganik kimia, sumbangan pupuk organik dari buangan ekskresi (feses) ikan pada perlakuan minapadi dan juga akibat adanya kegiatan mikroorganisme di dalam tanah (Lazzari dan Baldisserotto 2008; Oehme *et al.* 2007). Selain itu, konsentrasi bahan organik meningkat akibat tingginya kapasitas tukar kation (KTK) dari humus, sehingga tinggi dalam menahan (menyimpan) unsur hara (Hardjowigeno 2010).

N total tergolong sedang dengan nilai dalam kisaran 0.21–0.5% yaitu sebesar 0.26–0.27% (Sulaeman *et al.* 2005). Unsur N dalam tanah berasal dari bahan organik tanah, pengikatan oleh mikroorganisme, pupuk anorganik, serta air hujan (Hardjowigeno 2010; Reece *et al.* 2011). N total pada analisis akhir memiliki nilai yang bervariasi ada yang berkurang dan juga tetap. Hilangnya N dari tanah ada beberapa penyebab diantaranya adalah karena digunakan oleh tanaman ataupun mikroorganisme, N dalam bentuk NH_4^+ diikat oleh mineral liat sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman, N dalam bentuk NO_3^- mudah tercuci oleh air hujan (*leaching*) (Hardjowigeno 2010). Sedangkan untuk nilai N total yang tetap diduga karena tidak ada N yang hilang atau N yang hilang tergantikan oleh N dari sumber lain baik dari sisa pakan, buangan ekskresi ikan ataupun dari mikroorganisme akuatik seperti Cyanobacteria.

P total tergolong sangat tinggi karena ≥ 60 mg P_2O_5 per 100 g yaitu sebesar 257.56–270.91 mg P_2O_5 per 100 g (Sulaeman *et al.* 2005). Hal tersebut diduga karena kadar P di sawah sudah tinggi berdasarkan analisis tanah awal sehingga ketika diberikan pemupukan, P dalam tanah semakin bertambah. Selain itu juga kandungan P yang tinggi dapat disebabkan oleh pH tanah yang tergolong agak alkalis, sehingga P dalam tanah tidak diserap tanaman karena difiksasi (diikat) oleh Ca (Hardjowigeno 2010).

K total mengalami penurunan nilai secara keseluruhan di setiap perlakuan sehingga dari asalnya tergolong sangat tinggi menjadi tinggi sampai rendah dengan rata-rata nilai sebesar 22.86–39.60 mg K_2O per 100 g. Hal tersebut diduga K dalam tanah telah diserap oleh tanaman, atau karena adanya pencucian oleh air hujan (*leaching*). Menurut Hardjowigeno (2010) bahwa tanaman cenderung mengambil K dalam jumlah yang banyak dari yang dibutuhkan.

Tabel 3 Rataan hasil analisis hara tanah awal

Peubah Kimia					
pH H ₂ O	KTK (cmol (+) kg ⁻¹)	C-organik (%)	N Total (%)	P Total (mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹)	K Total (mg K ₂ O 100 g ⁻¹)
8.09	31.36	2.34	0.30	191.07	62.86
*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Tinggi

Keterangan: Hasil pengujian diperoleh dari laboratorium pengujian Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian. *) Kriteria berdasarkan Pusat Penelitian Tanah (1983).

Tabel 4 Rataan hasil analisis hara tanah akhir

Peubah Kimia						
Perlakuan	pH H ₂ O	KTK (cmol (+) kg ⁻¹)	C-organik (%)	N Total (%)	P Total (mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹)	K Total (mg K ₂ O 100 g ⁻¹)
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	7.74a	40.55ab	2.64a	0.26a	270.91a	39.60a
	*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Tinggi
Monokultur ikan	7.78a	35.21b	2.65a	0.26a	267.23a	29.98ab
	*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Tinggi
Minapadi 100% pupuk anorganik	7.73a	38.27ab	2.57a	0.27a	269.08a	26.94ab
	*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Sedang
Minapadi 60% pupuk anorganik	7.75a	38.44ab	2.68a	0.27a	265.46a	26.00ab
	*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Sedang
Minapadi 20% pupuk anorganik	7.75a	41.99a	2.66a	0.27a	257.56a	22.86b
	*Agak alkalis	*Tinggi	*Sedang	*Sedang	*Sangat tinggi	*Sedang
KK (%)	0.741	9.480	5.305	5.712	5.862	17.446

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. Hasil pengujian diperoleh dari laboratorium pengujian Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian. *) Kriteria berdasarkan Pusat Penelitian Tanah (1983).
KK: Koefisien Keragaman.

Analisis Kualitas Air Awal

Analisis kualitas air awal dilakukan sebelum penelitian. Hasil analisis air awal ini menunjukkan bahwa pH air dalam rentang 6–9 karena memiliki nilai 8.10 (PP RI no. 82 2001). Pada pH tersebut, ikan akan mengalami pertumbuhan optimal.

TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan ukuran zat terlarut baik zat organik maupun anorganik. Berdasarkan PP RI no. 82 (2001) jumlah padatan terlarut pada perairan yang dianjurkan adalah maksimal 500 mg L⁻¹. Nilai TDS yang terukur sebesar 188 mg L⁻¹ (Tabel 5). Menurut Effendi (2003), bahwa nilai TDS perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan air tanah, dan pengaruh antropogenik (limbah domestik dan industri).

TSS (*Total Suspended Solid*) sebesar <8 mg L⁻¹, nilai tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap perikanan karena <25 mg L⁻¹ (Alabaster dan Lloyd 1980). Nilai TSS <8 mg L⁻¹ termasuk ke dalam mutu air dalam kategori sangat baik, karena <100 mg L⁻¹ (Yusuf 2014). Maka, nilai TSS tersebut tidak memiliki dampak berbahaya pada ikan, plankton, dan makhluk hidup lainnya yang ada dalam air.

EC (*Electrical Conductivity*) memiliki nilai 408 µS cm⁻¹. EC merupakan ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Tinggi rendahnya EC tergantung pada banyak sedikitnya garam terlarut di perairan. Rohmawati *et al.* (2016) bahwa semakin tinggi garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, maka semakin tinggi pula nilai EC. Nilai EC yang terukur pada analisis awal ini berada pada rentang 250–750 yaitu 408 µS cm⁻¹ masuk ke dalam kriteria baik (Scofield 1936). Maka, air dapat dimanfaatkan untuk keperluan pertanian ataupun perikanan karena memiliki kualitas yang baik.

Kadar nitrat yang terukur tergolong kriteria sangat baik >1 mg L⁻¹ (Yusuf 2014). Nitrat sebagai N (NO₃⁻) terukur 0.31 mg L⁻¹, nilai tersebut <5 mg L⁻¹ akan baik untuk menunjang budidaya ikan air tawar (PP RI no.82 2001). Nitrat adalah bentuk utama nitrogen dan juga merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga di perairan yang sangat mudah larut dalam air juga bersifat labil dengan jumlah yang sedikit di perairan (Rohmawati *et al.* 2016; Effendi 2003).

TOM (*Total Organic Matter*) yang terukur adalah 4.42 mg KMNO₄ L⁻¹. Bahan organik total merupakan akumulasi bahan organik pada perairan yang digunakan sebagai indikator bahwa perairan tersebut layak untuk kegiatan budidaya. Bahan organik ini dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk melakukan proses nitrifikasi. Proses nitrifikasi merupakan suatu proses yang dilakukan oleh bakteri aerob tertentu sebagai sumber energi, aktivitasnya mengoksidasi amonium menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat. Nitrat yang dilepaskan dari bakteri ini kemudian diasimilasi oleh tumbuhan dan diubah menjadi bentuk organik seperti asam amino dan protein (Campbell *et al.* 2004). Kandungan bahan organik total pada perairan budidaya sebaiknya tidak >10 mg L⁻¹ (Thurman 1985). Tingginya bahan organik total dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut karena berpotensi memunculkan kompetisi pemanfaatan oksigen antar organisme yang hidup dalam perairan (Permatasari 2012). TOM yang terukur <10 mg L⁻¹ yaitu 4.42 mg L⁻¹ maka perairan yang digunakan layak untuk dilakukan kegiatan budidaya.

DO (*Dissolved Oxygen*) atau oksigen terlarut yaitu 8.1 mg L^{-1} , nilai ini $>5 \text{ mg L}^{-1}$, baik untuk budidaya ikan air tawar. Oksigen terlarut merupakan jumlah mg L^{-1} gas O_2 yang terlarut dalam air dan juga merupakan parameter kualitas air yang sangat penting, karena apabila terjadi penurunan konsentrasi akan menyebabkan kematian mendadak pada ikan, gangguan reproduksi, dan pertumbuhan (Kurniasih 2008; Permatasari 2012). Ketersediaan oksigen terlarut sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupan organisme, selain untuk metabolisme juga untuk menetralisasi keadaan air yang memburuk dengan cara mempercepat proses oksidasi gas-gas beracun seperti ammonia dan asam sulfida (Kurniasih 2008). Oksigen merupakan salah satu faktor pembatas yang apabila ketersediannya di dalam air tidak terpenuhi akan menghambat segala aktivitas organisme akuatik. Kebutuhan oksigen pada ikan terbagi atas dua aspek kepentingan, yaitu untuk kebutuhan lingkungan bagi spesies tertentu dan kebutuhan konsumtif ikan (Zonneveld *et al.* 1991).

Analisis Kualitas Air Akhir

Analisis kualitas air akhir dilakukan setelah penelitian, hasil analisis air akhir secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 6. Rataan hasil analisis air akhir pada Tabel 6 menunjukkan bahwa pH air termasuk dalam rentang 6–9 karena memiliki rata-rata nilai 7.15–7.58 (PP RI no. 82 2001). Nilai pH pada rentang tersebut ikan akan mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Menurut Boyd (1990), tinggi rendahnya pH dalam suatu perairan dipengaruhi oleh jumlah cemaran dalam lingkungan perairan khususnya sisa pakan dan hasil metabolisme.

TDS (*Total Dissolved Solid*) memiliki rata-rata nilai 122–136 mg L^{-1} , berdasarkan PP RI No. 82 (2001) jumlah padatan terlarut pada perairan dianjurkan adalah maksimal 500 mg L^{-1} . Berdasarkan hasil analisis air akhir ini (Tabel 6), menunjukkan bahwa TDS (*Total Dissolved Solid*) pada perlakuan sebagian besar mengalami penurunan. TDS pada air sawah meningkat seiring dengan adanya peningkatan nilai EC, maka ketika EC mengalami penurunan TDS mengalami hal yang sama (dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6).

Nilai TSS yang terukur adalah 38–106 mg L^{-1} , maka dengan nilai tersebut termasuk kriteria baik karena $<500 \text{ mg L}^{-1}$ (Yusuf 2014). Maka, air dapat dimanfaatkan untuk keperluan perikanan, mengairi tanaman (pertanian) dan keperluan lainnya. TSS (*Total Suspended Solid*) pada perlakuan sebagian besar mengalami kenaikan nilai. Hal tersebut diduga, sisa-sisa metabolisme dan nutrisi yang masuk ke dalam perairan akibat adanya pemberian pakan pada ikan ataupun pupuk anorganik belum atau hanya sebagian yang digunakan oleh tanaman padi dan organisme akuatik.

Nilai EC (*Electrical Conductivity*) memiliki rata-rata nilai 271–389 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Nilai EC yang terukur berada pada rentang $>250\text{--}750 \mu\text{S cm}^{-1}$, maka masuk ke dalam kriteria sangat baik sampai baik (Scofield 1936). Berdasarkan Tabel 6 terlihat bahwa nilai EC mengalami penurunan secara keseluruhan pada setiap perlakuan. Hal tersebut kemungkinan disebabkan garam-garam terlarut yang terdapat pada tanah sawah telah diserap oleh tanaman padi dan juga digunakan oleh mikroorganisme lain yang berada dalam air, sehingga nilai EC mengalami penurunan.

Nitrat sebagai N (NO_3^-) karena memiliki rata-rata nilai 69–104 mg L^{-1} . Nilai nitrat dalam air mengalami peningkatan, hal tersebut diduga karena ikan memakan berbagai jenis makanan di sawah kemudian mengeluarkan feses yang merupakan hasil ekskresi yang tidak digunakan oleh ikan. Menurut Truruta *et al.* (2011) bahwa peningkatan konsentrasi NO_3^- berasal dari ekskresi nutrisi makanan yang tidak digunakan oleh ikan. Selain itu, *run-off* dari pemupukan padi juga berkontribusi menambah konsentrasi NO_3^- dalam air.

TOM yang terukur memiliki rata-rata 29.71–38.24 $\text{mg KMNO}_4 \text{ L}^{-1}$. TOM (*Total Organic Matter*) mengalami peningkatan secara keseluruhan pada setiap perlakuan. Kandungan bahan organik total dalam perairan sebaiknya tidak $>10 \text{ mg L}^{-1}$, karena apabila bahan organik total tinggi dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut karena berpotensi memunculkan kompetisi pemanfaatan oksigen antar organisme yang hidup dalam perairan (Thurman 1985; Permatasari 2012). Namun, dari nilai yang terukur dalam oksigen terlarut berada pada nilai optimal untuk ikan yaitu pada rentang 7.33–7.90 mg L^{-1} .

DO (*Dissolved Oxygen*) atau oksigen terlarut yaitu 7.33–7.90 mg L^{-1} , nilai ini $>5 \text{ mg L}^{-1}$, baik untuk budidaya ikan air tawar (PP RI no. 82 2001). Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas air baik, karena kadar oksigen yang tinggi menggambarkan kualitas yang baik dan belum tercemar (Rohmawati *et al.* 2016).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 5 Rataan hasil analisis kualitas air awal

Peubah Kimia						
pH	TDS (mg L ⁻¹)	TSS (mg L ⁻¹)	EC (µS cm ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	TOM (mg KMNO ₄ L ⁻¹)	DO (mg L ⁻¹)
8.10	188	<8	408	0.31	4.42	8.10

Keterangan: Hasil pengujian diperoleh dari Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan, serta analisis dari lapangan menggunakan pH meter dan DO meter.

Tabel 6 Rataan hasil analisis kualitas air akhir

Peubah Kimia							
Perlakuan	pH	TDS	TSS	EC	NO ₃ ⁻	TOM	DO
		(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(µS cm ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg KMNO ₄ L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	7.55a	131ab	64a	286b	69b	30.18a	7.33c
Monokultur ikan	7.48a	171a	38a	389a	104a	38.24a	7.73ab
Minapadi 100% pupuk anorganik	7.15a	128b	106a	293b	80ab	33.81a	7.90a
Minapadi 60% pupuk anorganik	7.58a	122b	81a	271b	82ab	29.97a	7.90a
Minapadi 20% pupuk anorganik	7.23a	136ab	65a	310ab	73b	29.71a	7.45bc
KK (%)	3.559	18.323	35.940	18.540	18.483	16.239	3.137

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. Hasil pengujian diperoleh dari Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan, serta analisis dari lapangan menggunakan pH meter, nitrat meter dan DO meter. KK: Koefisien Keragaman.

Kelimpahan dan Komposisi Spesies Plankton

Berdasarkan hasil pengamatan dan identifikasi, plankton yang ditemukan yaitu 54 spesies dengan 8 kelas, 5 kelas dari fitoplankton yang terdiri atas kelas Chlorophyceae, kelas Cyanophyceae, kelas Cryptophyceae, kelas Euglenophyceae, dan kelas Bacillariophyceae, 3 kelas lainnya dari zooplankton yaitu kelas Maxillapoda, kelas Branchiopoda dan kelas Secernentea serta setiap perlakuan memiliki jumlah dan spesies yang beragam. Keragaman spesies yang ditemukan, terutama pada fitoplankton merupakan kejadian alami yang dapat terjadi di lingkungan bernutrien tinggi dan memiliki kondisi lingkungan yang menguntungkan. Keragaman tersebut diduga karena area perlakuan merupakan ekosistem sawah yang memberikan lingkungan menguntungkan bagi pertumbuhan berbagai kelompok alga berkenaan dengan kebutuhan cahaya, air, suhu dan ketersediaan nutrien (Kumar dan Sahu 2012).

Kelimpahan plankton tertinggi terdapat pada perlakuan P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik) yaitu 3979 ind L⁻¹ dan kelimpahan plankton terendah terdapat pada perlakuan P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik anorganik) yaitu 1133 ind L⁻¹. Perlakuan monokultur padi memiliki kelimpahan lebih tinggi dibandingkan perlakuan yang lainnya (Tabel 7). Hal tersebut diduga pada perlakuan monokultur padi memiliki ketersediaan makronutrien yang cukup seperti nitrogen (N), fosfor (P) sebagai unsur yang diperlukan untuk pertumbuhan fitoplankton (Redden *et al.* 2008). Selain itu, diduga disebabkan karena tidak adanya ikan dan hanya ada tanaman padi saja, sehingga plankton yang ada tetap melimpah.

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa kelas Chlorophyceae (alga hijau) yang paling banyak ditemukan. Hal tersebut sesuai dengan Bowling (2008) bahwa di antara alga air tawar yang paling banyak dan beragam adalah dari kelas Chlorophyceae. Chlorophyceae merupakan kelompok utama di ekosistem air tawar dan sebagian besar spesiesnya berada pada ekosistem air tawar yang sehat (Vuuren *et al.* 2006). Chlorophyceae juga termasuk ke dalam organisme autotrof yang memiliki peran penting sebagai produsen primer dalam rantai makanan akuatik, hidup dari hara-hara anorganik dan menghasilkan bahan organik dari karbon dioksida melalui reaksi fotosintesis (Campbell *et al.* 2004; Achmad 2004). Chlorophyceae memiliki organel yang sangat mencolok karena adanya kloroplas, sebagian besar berwarna hijau cerah yang disebabkan oleh adanya klorofil a dan klorofil b serta spesies tertentu tampak hijau kekuning-kuningan atau hijau hitam-hitaman yang disebabkan oleh adanya pigmen karotenoid (Vuuren *et al.* 2006). Spesies dari Chlorophyceae yang paling banyak dan ditemukan di semua perlakuan adalah *Chlorella*. Meskipun demikian, tidak diketahui bahwa *Chlorella* dapat menimbulkan masalah saat kehadirannya melimpah (Vuuren *et al.* 2006). Menurut Bowling (2008) bahwa pada kebanyakan sistem, fitoplankton air tawar tidak menyebabkan masalah pada lingkungan. Kelimpahan yang tinggi terjadi saat kondisi sesuai dan menguntungkan untuk pertumbuhan eksplosif, seperti kelebihan nutrien (Bowling 2008; Kumar dan Sahu 2012). *Chlorella* merupakan sumber makanan potensial dan berkualitas dalam budidaya air tawar karena tinggi protein juga nutrien esensial lainnya, dengan demikian *Chlorella* menjadi salah satu pakan alami (Jena *et al.* 2017; Kruk dan Segura 2012).

Beberapa spesies lain dari fitoplankton yang melimpah adalah *Oscillatoria* sp. (Cyanophyceae), dan *Nitzschia* sp. (Bacillariophyceae). *Oscillatoria* merupakan salah satu spesies dari kelas Cyanobacteria (Bellinger dan Sigeo 2010; Bowling 2008, Mizuno 1987; Kobayashi *et al.* 2008; Vuuren *et al.* 2006). Cyanobacteria memiliki kemampuan dalam memfiksasi nitrogen dari udara yang dilakukan oleh sel khusus yang disebut heterosis, dan di Asia dari kedua tipe Cyanobacteria (heterosis dan non heterosis) sarana utama untuk mempertahankan nitrogen yang cukup dalam tanah (Bowling 2006; Taiz dan Zeiger 2010). *Oscillatoria* ditemukan hampir di seluruh perlakuan kecuali pada perlakuan perlakuan P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik). Hal tersebut kemungkinan disebabkan pada perlakuan monokultur padi tidak ada kolam budidaya atau karena tidak adanya ikan. Menurut Vuuren *et al.* (2006) bahwa *Oscillatoria* tersebar luas dan umum di berbagai habitat dan beragam kondisi, seperti di air tawar, di laut, serta sumber air panas. *Oscillatoria* biasa ditemukan di kolam budidaya, laguna tempat pengolahan limbah, dan sering ditemukan bersama *Euglena* di perairan dengan kadar nitrogen yang tinggi. Beberapa spesies *Oscillatoria* toleran terhadap polusi organik tinggi dan naungan serta dapat menyesuaikan tingkat klorofil a dan menggunakan pigmen aksesori untuk mengimbangi tingkat cahaya rendah (Vuuren *et al.* 2006). Kemudian, spesies Bacillariophyceae yang sering ditemukan pada perlakuan adalah *Nitzschia* sp. *Nitzschia* sp. merupakan genus dari Bacillariophyceae yang umum ditemukan, baik pada ekosistem air tawar ataupun laut dan bermanfaat secara ekologi (Tan *et al.* 2016). Hal tersebut karena sebagian taksa merupakan indikasi pengayaan nutrisi (eutrofikasi), dan sebagian lainnya merupakan indikator yang bermanfaat untuk peningkatan salinitas serta tidak diketahui dapat menimbulkan masalah (Vuuren *et al.* 2006).

Spesies zooplankton yang sering ditemukan pada perlakuan adalah stadia *Nauplius* (Maxillopoda) dan *Meloidogyne* sp. (Secernentea). Stadia *Nauplius* atau larva *Nauplius* merupakan larva dari *Cyclops* dari subkelas Copepoda, kelas Maxillopoda, Subfilum Crustacea dan filum Arthropoda (Mizuno 1987; Kobayashi *et al.* 2008; ITIS; 2019). *Meloidogyne* merupakan genus dari kelas Secernentea yang termasuk ke dalam filum nematoda. Nematoda dapat beradaptasi di berbagai ekosistem seperti di laut, air tawar, tanah, daerah kutub, daerah tropis, gunung, padang pasir, palung, dan mewakili 90% dari semua hewan di dasar laut (Borgonie *et al.* 2011; Danovaro *et al.* 2008). Nematoda dapat dengan cepat memasukkan bahan penting alga yang baru berfotosintesis (seperti pada diatom atau Bacillariophyceae, alga hijau dan lain-lain) dalam makanan nematoda perifiton, nematoda pada air tawar juga mampu membedakan dan memilih makanan berdasarkan percobaan laboratorium (Majdi dan Transpurger 2015). Spesies dari nematoda tersebut sulit dibedakan meskipun >25 000 telah dijelaskan dan lebih dari setengahnya adalah parasit (Zhang 2013).



Tabel 7 Spesies dan jumlah plankton pada setiap perlakuan

No	Kelas dan Spesies	Kelimpahan (ind L ⁻¹)				
		P1	P2	P3	P4	P5
Chlorophyceae						
1.	<i>Chlorella</i>	3749	744	763	981	943
2.	<i>Closterium gracile</i>	-	-	-	-	6
3.	<i>Angkyra</i>	-	-	-	-	3
4.	<i>Monoraphidium</i> sp.	-	2	-	-	3
5.	<i>Gleocyttis</i>	-	-	-	-	2
6.	<i>Spirogyra</i> sp.	-	-	-	-	2
7.	<i>Cosmarium</i> sp.	-	-	-	-	2
8.	<i>Haemococcus</i>	-	-	-	5	3
9.	<i>Zygnema</i> sp.	-	-	-	3	-
10.	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	-	-	-	2	-
11.	<i>Aulacoseira</i> sp.	38	-	-	16	-
12.	<i>Tetmemorus</i>	-	-	-	37	-
13.	<i>Scedesmus obtusus</i>	-	44	8	-	-
14.	<i>Microspora</i>	-	10	3	-	-
15.	<i>Tetrastrum</i>	-	2	-	-	-
16.	<i>Closterium acerosum</i>	-	13	37	-	-
17.	<i>Cosmarium quadratum</i>	-	5	2	-	-
18.	<i>Closterium lunula</i>	-	-	5	-	-
19.	<i>Asterococcus limneticus</i>	-	378	227	-	-
20.	<i>Closterium aciculare</i>	3	-	-	-	-
21.	<i>Oocytis</i>	-	5	5	2	113
Cyanophyceae						
22.	<i>Oscillatoria</i> sp.	-	2	37	21	21
23.	<i>Oscillatoria tenuis</i>	-	-	-	-	2
24.	<i>Oscillatoria ornate</i>	-	57	-	3	-
25.	<i>Aphanocapsa</i>	-	-	-	3	-
26.	<i>Scytonema</i>	-	-	-	-	3
27.	<i>Gloeotrichia</i> sp.	-	8	-	5	-
28.	<i>Chroococcus</i>	-	38	6	8	-
29.	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	-	-	-	51	8
30.	<i>Spirulina</i> sp.	-	2	-	-	-
Bacillariophyceae						
31.	<i>Navicula</i>	12	5	6	51	-
32.	<i>Craticula</i>	-	186	24	38	-
33.	<i>Eunotia</i>	-	-	-	-	2
34.	<i>Pleurosigma</i>	5	8	10	-	5
35.	<i>Luticola</i>	-	-	-	29	-
36.	<i>Cymbella</i> sp.	8	2	33	-	-
37.	<i>Cymatopleura elliptica</i>	5	-	-	-	2
38.	<i>Stauroneis alabamiae</i>	-	-	-	5	-

Keterangan: P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik), P2 (monokultur ikan), P3 (minapadi dengan 100% pupuk anorganik), P4 (minapadi dengan 60% pupuk anorganik), P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 7 Spesies dan jumlah plankton pada setiap perlakuan (lanjutan)

No	Kelas dan Spesies	Kelimpahan (ind L ⁻¹)				
		P1	P2	P3	P4	P5
39.	<i>Nitzschia</i> sp.	84	114	51	27	-
40.	<i>Undella hyaline</i>	-	2	2	-	-
41.	<i>Surirella</i> sp.	-	2	5	17	-
42.	<i>Neidium iridis</i>	2	3	-	-	-
43.	<i>Neidium dubium</i>	-	-	-	2	-
43.	<i>Denticula</i>	-	-	-	2	2
44.	<i>Diatoma elongatum</i>	-	19	-	-	-
45.	<i>Diatoma vulgare</i>	6	-	16	-	-
46.	<i>Synedra</i>	62	-	-	-	-
47.	<i>Dactyliosolen</i>	-	57	5	8	-
48.	<i>Nitzschia</i> sp.	84	114	51	27	-
Cryptophyceae						
49.	<i>Rhodomonas</i> sp.	-	-	-	24	-
Euglenophyceae						
50.	<i>Phacus</i> sp.	-	3	2	-	-
Maxillopoda						
51.	<i>Stadia Nauplius</i>	-	2	-	5	11
52.	<i>Acanthocyclops morimotoi</i>	-	-	-	-	2
Branchiopoda						
53.	<i>Daphnia</i> sp.	-	2	-	-	-
Secernentea						
54.	<i>Meloidogyne</i> sp.	5	10	-	-	-

Keterangan: P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik), P2 (monokultur ikan), P3 (minapadi dengan 100% pupuk anorganik), P4 (minapadi dengan 60% pupuk anorganik), P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik)

Indeks Keragaman Plankton

Keragaman plankton tertinggi terdapat pada perlakuan P2 (monokultur ikan) yaitu 1.86 dan keragaman plankton terendah terdapat pada perlakuan P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik) yaitu 0.32 (Tabel 8). Indeks keragaman plankton dari lima perlakuan bahwa pada perlakuan P2 (monokultur ikan), perlakuan P3 (minapadi dengan 100% pupuk anorganik anorganik), perlakuan P4 (minapadi dengan 60% pupuk anorganik anorganik) memiliki indeks keragaman sedang, nilai keragaman $1 \leq H' \leq 3$ yaitu kemampuan penyebaran individu tiap spesies sedang dan kestabilan komunitas sedang. Pada perlakuan P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik) dan perlakuan P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik anorganik) memiliki indeks keragaman rendah, nilai keragaman $H' \leq 1$ yaitu kemampuan penyebaran individu tiap spesies rendah dan kestabilan komunitas rendah (Tabel 8).

Tabel 8 Kelimpahan (N), indeks keragaman (H'), dan indeks dominansi (C)

Struktur komunitas	Perlakuan penelitian				
	P1	P2	P3	P4	P5
Kelimpahan (N)	3979	1725	1247	1345	1133
Indeks Keragaman (H')	0.32	1.86	1.43	1.31	0.73
Indeks Dominansi (C)	0.89	0.25	0.41	0.54	0.70

Keterangan: P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik), P2 (monokultur ikan), P3 (minapadi dengan 100% pupuk anorganik anorganik), P4 (minapadi dengan 60% pupuk anorganik anorganik), P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik anorganik).

Nilai indeks keragaman sedang pada perlakuan P2, P3 dan P4 disebabkan karena tidak adanya dominansi dari spesies plankton, sedangkan nilai indeks keragaman rendah pada perlakuan P1 dan P5 disebabkan karena adanya dominansi dari *Chlorella*. Dominansi tersebut diduga karena perbedaan nutrisi pada setiap perlakuan. Menurut Samudra *et al.* (2013) bahwa dominansi suatu jenis fitoplankton pada badan air ditentukan oleh perbandingan jenis nutrisi yang larut dalam badan air. Hal tersebut terjadi karena setiap jenis fitoplankton memiliki respon yang berbeda terhadap perbandingan nutrisi terutama nitrogen dan fosfor (Barus 2004).

Indeks Dominansi Plankton

Nilai indeks dominansi (C) plankton pada sawah sebagai area perlakuan yaitu 0.25–0.89 (Tabel 8). Indeks dominansi plankton dari lima perlakuan terlihat bahwa pada perlakuan P2 (monokultur ikan), perlakuan P3 (minapadi dengan 100% pupuk anorganik anorganik), perlakuan P4 (minapadi dengan 60% pupuk anorganik aorganik) memiliki nilai indeks dominansi mendekati 0, hal tersebut dapat diartikan bahwa tidak ada plankton yang mendominasi pada sawah dengan perlakuan tersebut. Pada perlakuan P1 (monokultur padi 100% pupuk anorganik) dan perlakuan P5 (minapadi dengan 20% pupuk anorganik anorganik) memiliki nilai indeks dominansi mendekati 1, yang berarti bahwa ada plankton yang mendominasi yaitu spesies *Chlorella*. *Chlorella* termasuk ke dalam kelas Chlorophyceae yang hidup bebas di air tawar, air laut, habitat sub-aerial, dan biasanya terdapat pada perairan eutrofik dalam jumlah besar (Vuuren *et al.* 2006).

Dominansi pada kedua perlakuan tersebut (P1 dan P5) diduga karena perlakuan mengalami eutrofikasi, perbedaan nutrisi (unsur hara), dan kehadiran zooplankton. Dominansi jumlah dan spesies Chlorophyceae mengindikasikan bahwa suatu perairan mengalami eutrofikasi (Prasad dan Suddaraju 2012; Samudra *et al.* 2013). Eutrofikasi merupakan suatu proses kesuburan air berlebihan yang disebabkan oleh masuknya nutrisi ke dalam badan air, terutama fosfat (Garno 2012; Tungka *et al.* 2016). Menurut Henderson-seller dan Markland (1987) bahwa salah satu indikator yang dapat mendeteksi terjadinya eutrofikasi di perairan adalah bergantinya populasi fitoplankton dominan dari diatom (Bacillariophyceae) menjadi Chlorophyceae. Menurut Kilham dan Kilham (1978) bahwa dominansi fitoplankton diduga karena perbedaan nutrisi, karena setiap jenis plankton memiliki respon yang berbeda terhadap perbandingan konsentrasi nitrogen, fosfor dan silika dalam badan air. Menurut Garno (2012), apabila perbandingan unsur hara sesuai maka fitoplankton akan tumbuh dengan baik sehingga menjadi dominan, sedangkan yang tidak sesuai akan mati atau hidup

tertekan dan tidak berkembang. Kehadiran zooplankton juga dapat mempengaruhi dominansi fitoplankton, hal tersebut karena zooplankton merupakan pemangsa utama pada rantai makanan akuatik (Garno 2012; Redden *et al.* 2008).

Tinggi Tanaman

Hasil rataan tinggi tanaman antar perlakuan pada saat 7 MST (Tabel 9) menunjukkan bahwa perlakuan monokultur padi 100% pupuk anorganik menghasilkan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan minapadi yaitu 105.60 cm. Menurut Siregar (1981) tinggi tanaman terbagi menjadi tiga kelompok yaitu tinggi tanaman pendek (<115 cm), sedang (115–125 cm) dan tinggi (>125 cm). Berdasarkan hasil penelitian, varietas IPB 3S pada setiap perlakuan termasuk dalam kelompok tinggi tanaman pendek. Hal tersebut didukung oleh penelitian Simangunsong (2013) bahwa IPB 3S termasuk dalam kelompok tinggi tanaman pendek. Varietas yang termasuk dalam kelompok tanaman pendek ini akan memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya matahari lebih banyak dibandingkan kelompok tanaman tinggi (Suharso 2014). Tinggi rendahnya tanaman dipengaruhi sifat varietas (Suprihatno *et al.* 2008).

Tabel 9 Tinggi tanaman padi pada 3 MST–7 MST

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)				
	3 MST	4 MST	5 MST	6 MST	7 MST
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	42.90a	51.90a	75.78a	84.80a	105.60a
Monokultur ikan	0	0	0	0	0
Minapadi 100% pupuk anorganik	42.95a	52.60a	76.33a	85.95a	98.40ab
Minapadi 60% pupuk anorganik	40.08b	50.95a	72.30ab	83.23a	96.07ab
Minapadi 20% pupuk anorganik	39.02b	50.12a	69.05b	80.12a	89.57b
KK (%)	2.904	5.404	4.656	5.193	7.629

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. KK: Koefisien Keragaman.

Berdasarkan Tabel 9 terlihat bahwa pertumbuhan tanaman padi pada awalnya lambat kemudian mengalami percepatan pertumbuhan di akhir (7 MST). Hal tersebut karena tanaman padi termasuk tumbuhan lengkap (memiliki struktur lengkap baik morfologi ataupun anatominya) yang memiliki kurva sigmoid (Gardner *et al.* 1991; Tjitrosoepomo 2009). Kurva sigmoid merupakan suatu fungsi pertumbuhan yang mencirikan pola pertumbuhan tanaman sepanjang suatu generasi secara khas (Gardner *et al.* 1991). Oleh sebab itu, karena tanaman menunjukkan pola pertumbuhan sigmoidal yaitu pertumbuhan awal tanaman bersifat eksponensial atau pertumbuhan tanaman pada mulanya lambat kemudian berangsur-angsur lebih cepat sampai pada titik maksimum akhirnya laju tumbuh menurun (Pandey *et al.* 2017; Tjitrosomo 2008). Pola pertumbuhan tersebut berlangsung cepat pada fase vegetatif dan akan melambat pada fase senesen (Tjitrosomo 2008). Selain itu, proses pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan (Gardner *et al.* 1991; Tjitrosomo 2008). Pada fase vegetatif tanaman padi membutuhkan N untuk pertumbuhan dan jumlah anakan (Hardjowigeno 2010; Singh *et al.* 2016). Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang diperlukan tanaman, dan fungsinya dalam tanaman tidak dapat digantikan

oleh unsur hara lainnya, sehingga bila tidak tersedia dalam jumlah yang cukup tanaman tidak dapat tumbuh secara normal (Hardjowigeno 2010). Nitrogen juga merupakan penyusun asam-asam amino, protein, hormon sitokinin, dan hormon auksin yang memicu laju pertumbuhan tanaman dan meningkatkan tinggi tanaman (Gardner *et al.* 1991; Lakitan 2007).

Jumlah dan Bobot Gabah per Rumpun

Tabel 10 menunjukkan bahwa jumlah dan bobot gabah per rumpun baik pada monokultur padi maupun minapadi secara statistik tidak berbeda nyata. Pada saat pupuk anorganik dikurangi sampai 20% pada minapadi menghasilkan jumlah dan bobot gabah berisi tidak berbeda nyata dengan monokultur padi 100% pupuk anorganik. Hal tersebut diduga karena ikan dapat memanfaatkan N yang tidak diserap oleh tanaman padi melalui konsumsi produsen primer akuatik. Sebaliknya, hasil metabolisme serta buangan ekskresi dari ikan berupa feses dan sisa pakan dapat menjadi pupuk organik yang mengandung N mampu meningkatkan jumlah bulir padi (Patti *et al.* 2013; Siregar dan Marzuki 2011; Tando 2018), dan pengisian biji atau bobot gabah (Patti *et al.* 2013; Xiang *et al.* 2013). Penambahan pupuk organik tersebut dapat memperbaiki kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan padi, hara semakin tersedia untuk diserap akar (Hu *et al.* 2013; Sudiarta *et al.* 2016; Xie *et al.* 2011).

Tanaman padi hanya menyerap 30% dari pupuk anorganik nitrogen yang diberikan dan sumber pupuk anorganik N (Doberman dan Fairhurst 2000), dan 28.3% tanaman padi dapat menyerap N dari pupuk yang diberikan (Miao *et al.* 2010). Patti *et al.* (2013), tanaman padi mampu menyerap sekitar 19–47% N dari tanah. Maka, dengan adanya ikan dapat menambah pupuk organik dari penggunaan N komplementer antara padi dan ikan. Hubungan ini menjelaskan bahwa budidaya minapadi membutuhkan sedikit N kimia dibandingkan monokultur padi (Xie *et al.* 2011).

Tabel 10 Jumlah dan bobot gabah per rumpun

Perlakuan	Jumlah gabah		Bobot gabah (g)	
	Berisi	Hampa	Berisi	Hampa
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	667.75a	417.25a	22.75a	5.75a
Monokultur ikan	0	0	0	0
Minapadi 100% pupuk anorganik	830.00a	401.50a	27.50a	5.25a
Minapadi 60% pupuk anorganik	765.25a	336.75a	25.50a	5.50a
Minapadi 20% pupuk anorganik	692.25a	302.75a	22.25a	3.75a
KK (%)	18.012	10.362	17.843	12.455

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. KK: Koefisien Keragaman.

Monokultur padi dengan areal tanam padi 21 m² terdapat 450 rumpun padi dengan rata-rata bobot gabah sebesar 10.24 kg per petak. Minapadi memiliki area tanam padi 17 m² terdapat 351 rumpun dengan rata-rata bobot gabah pada minapadi 100% pupuk anorganik sebesar 9.65 kg per petak, pada monokultur 60% pupuk anorganik sebesar 8.95 kg per petak dan pada minapadi 20% pupuk anorganik sebesar 7.81 kg per petak.



Gambar 7 Padi varietas IPB 3S

Presentase Gabah Berisi dan Hampa

Tabel 11 menunjukkan bahwa secara statistik presentase jumlah gabah per rumpun, baik berisi maupun hampa pada monokultur dan minapadi tidak berbeda nyata. Tabel 11 terlihat bahwa pada saat pupuk anorganik dikurangi hingga 20% pada minapadi menghasilkan presentase jumlah gabah berisi tidak berbeda nyata dengan monokultur 100% pupuk anorganik. Hal tersebut diduga adanya penambahan pupuk organik dari ikan, sisa pakan, dan dosis pupuk anorganik yang diberikan pada tanaman padi. Menurut Sudiarta *et al.* (2016) bahwa proses fotosintesis untuk membentuk asimilat yang nantinya ditranslokasikan pada gabah akan terjamin dengan ketersediaan hara pada akar, sehingga semakin banyak ditranslokasikannya asimilat pada gabah maka akan semakin meningkatkan hasil gabah kering. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa dengan aplikasi pupuk anorganik yang lebih sedikit dan dengan adanya ikan dapat menghasilkan gabah berisi tidak berbeda dengan monokultur padi 100% pupuk anorganik.

Tabel 11 Presentase jumlah gabah (%) berisi dan hampa

Perlakuan	Presentase jumlah gabah (%) per rumpun	
	Berisi	Hampa
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	0.61a	0.39a
Monokultur ikan	0	0
Minapadi 100% pupuk anorganik	0.67a	0.33a
Minapadi 60% pupuk anorganik	0.69a	0.31a
Minapadi 20% pupuk anorganik	0.69a	0.31a
KK (%)	10.003	3.915

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. KK: Koefisien Keragaman.

Hasil Gabah

Tabel 12 menunjukkan bahwa hasil ubinan GKP dan GKG serta dugaan GKP tidak berbeda nyata antara monokultur dan minapadi, meskipun lahan efektif untuk ditanam padi pada minapadi sebesar 68%. Pengurangan dosis pupuk anorganik hingga 20% pada minapadi menghasilkan produktivitas gabah tidak berbeda nyata dengan monokultur 100% pupuk anorganik. Hal tersebut menunjukkan bahwa budidaya padi dan ikan dapat mengoptimalkan manfaat dari

sumber daya dan air sebagai interaksi saling melengkapi dan sinergis antara padi dan ikan serta tidak ada penurunan hasil panen padi pada budidaya minapadi (Hu *et al.* 2013; Hu *et al.* 2015). Kadar air pada GKP memiliki rata-rata nilai 19%, sedangkan pada GKG rata-rata nilai kadar air sebesar 13%. Perolehan nilai kadar air ini didapat dari hasil pengukuran dengan *grain moisture meter*.

Peningkatan hasil panen padi pada budidaya minapadi erat kaitannya dengan peningkatan jumlah malai per m² dan peningkatan jumlah gabah isi per malai (Mohanty *et al.* 2004). Selain itu, Vromant *et al.* (2002) mengatakan bahwa ikan memiliki efek positif pada komponen hasil padi, seperti pada jumlah malai per m² dan jumlah gabah per malai. Ikan memberikan efek positif pada padi dengan memberikan sumbangan N hasil dari buangan ekskresi yang berupa amonia, fosfat (Campbell *et al.* 2004; Lazzari dan Baldisseroto 2008).

Menurut Tsuruta *et al.* (2011) bahwa peningkatan hasil padi dimungkinkan karena berkurangnya kompetisi nutrisi antara tanaman padi dan gulma. Berkurangnya gulma dan hama di sawah juga akibat dari aktivitas langsung dan tidak langsung dari ikan yang menyebabkan pelepasan nutrisi tetap dari tanah ke air dan membuat tanah berpori sehingga nutrisi mudah untuk diserap oleh padi (Frei dan Becker 2005; Rothuis *et al.* 1999; Vromant *et al.* 1998; Vromant dan Chau 2005; Xie *et al.* 2011). Ikan juga dapat menyebabkan distribusi dan penggunaan nutrisi lebih efisien oleh tanaman padi dengan adanya integrasi padi dan ikan (Noorhosseini-Niyaki dan Bagherzadeh-Lakani 2013). Selain itu, kontribusi alga yang merupakan komponen penting dari ekosistem arid dan semi-arid, memiliki kemampuan meningkatkan sifat tanah dan tanaman (terutama mikroalga dan Cyanobacteria di tanah) serta memberikan efek menguntungkan pada tanaman yaitu meningkatkan ketersediaan P dan serapan P melalui ekskresi asam organik, penyedia nitrogen dan fiksasi nitrogen biologis, serta meningkatkan bahan organik tanah (Abdel-Raouf *et al.* 2012).

Peningkatan hasil padi juga diduga karena penanaman padi menggunakan sistem jajar legowo. Menurut Saerodji (2013), penanaman padi dengan sistem jajar legowo dapat meningkatkan produktivitas padi. Manfaat sistem jajar legowo adalah menambah jumlah tanaman, meningkatkan produktivitas padi, memperbaiki kualitas gabah, mengurangi, mempermudah perawatan (baik pemupukan ataupun pengendalian hama, penyakit dan gulma), menghemat pupuk anorganik karena hanya bagian dalam baris tanaman (Abdulrachman *et al.* 2013; Saerodji 2013).

Berdasarkan nilai berbagai peubah produksi padi (Tabel 10 dan Tabel 12) dan berbagai uraian di atas, menunjukkan bahwa penambahan pupuk anorganik pada minapadi sebanyak 20% dosis acuan pada tanah dengan status hara nitrogen sedang serta fosfor dan kalium sangat tinggi (Tabel 3) telah cukup untuk mendapatkan hasil yang tidak berbeda dengan dosis yang lebih tinggi (60% dan 100% dosis acuan pada minapadi, dan 100% dosis acuan pada monokultur padi). Minapadi pada tanah dengan status hara tersebut dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik.

Tabel 12 Hasil ubinan GKP, hasil ubinan GKG, dugaan hasil GKP, dan dugaan hasil GKG

Perlakuan	Hasil ubinan GKP (kg per 6.25 m ²)	Hasil ubinan GKG (kg per 6.25 m ²)	Dugaan hasil GKP (ton ha ⁻¹)	Dugaan hasil GKG (ton ha ⁻¹)
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	3.47a	2.93a	4.66a	4.32a
Monokultur ikan	0	0	0	0
Minapadi 100% pupuk anorganik	3.81a	3.26a	4.15a*	3.85a*
Minapadi 60% pupuk anorganik	3.30a	2.95a	3.59a*	3.32a*
Minapadi 20% pupuk anorganik	3.40a	2.82a	3.70a*	3.42a*
KK (%)	12.856	12.123	12.620	14.684

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 5%. GKP: gabah kering panen, GKG: gabah kering giling. KK: Koefisien Keragaman. *: Nilai telah dikonversi sesuai dengan areal lahan efektif yang ditanam padi pada minapadi yaitu 68% dan paliran 32% per ha.

Pertumbuhan Ikan

Tingkat kelangsungan hidup merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam usaha perikanan baik dari pembenihan, pendederan maupun pembesaran (Ferdianto 2013). Berdasarkan hasil pengamatan, ikan mas mampu beradaptasi baik secara monokultur maupun minapadi di lahan sawah dengan berbagai aplikasi perlakuan. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingkat kelangsungan hidup (SR) >80% selama pemeliharaan 30 hari pada Tabel 13. Selain itu juga karena setiap perlakuan memiliki lingkungan yang sesuai untuk budidaya ikan mas baik monokultur maupun minapadi, karena parameter kualitas air berada pada rentang yang cocok untuk pertumbuhan ikan (NRC 1977; PP RI no. 82 2001).

Ikan mas yang ditebar dengan bobot ± 7 g dan panjang ± 7 cm mengalami pertumbuhan seperti tertera pada Tabel 13. Pertambahan bobot ikan mas yang diusahakan secara monokultur tidak berbeda nyata dengan di sistem minapadi dengan berbagai dosis pupuk anorganik, namun di budidaya monokultur ukuran ikan lebih panjang dari minapadi (Tabel 13). Hal tersebut diduga karena ikan pada minapadi memiliki kemampuan dalam memanfaatkan pakan dan tambahan pakan dari luar seperti spora, miselium, dan serangga herbivora (pemakan daun) yang jatuh ke dalam air (Hu *et al.* 2013; Xie *et al.* 2011), walaupun pada tingkat 20% dosis acuan pupuk anorganik. Menurut Cahyanti *et al.* (2014), faktor yang berperan adalah kemampuan ikan beradaptasi terhadap lingkungan baru dan mampu memanfaatkan pakan alami di sawah serta pakan tambahan yang diberikan, sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan ikan yang tidak berbeda dengan monokultur. Ikan yang lebih panjang pada budidaya monokultur dibandingkan dengan yang di minapadi adalah terkait dengan ruang gerak pertumbuhan ikan (Febrianti *et al.* 2016; Kordi 2009); pada monokultur ikan lebih leluasa bergerak dibandingkan dengan minapadi yang lebih sempit ruang geraknya, yaitu yang berkedalam air 50 cm hanya di *kemalir*. Suhu, oksigen terlarut (DO) dan pH juga dapat mempengaruhi laju metabolisme tubuh dapat

meningkatkan aktivitas metabolisme dan dapat meningkatkan nafsu makan ikan (Mallya 2007; Zonneveld *et al.* 1991).

Bobot dan produksi ikan pada minapadi secara statistik tidak berbeda nyata dengan monokultur, dan FCR pada minapadi lebih tinggi dibandingkan dengan monokultur. *Feed conversion ratio* (FCR) pada minapadi tidak berbeda nyata dengan monokultur, tetapi nilainya lebih besar dibandingkan monokultur (Tabel 13). Hal tersebut diduga disebabkan oleh pemberian pakan melebihi kapasitas lambung dan terbuang. Menurut Sunarno (1991), jumlah pakan yang sesuai adalah sesuai dengan kapasitas lambung dan kecepatan pengosongan lambung atau saat ikan dalam kondisi lapar dan membutuhkan pakan, pada saat tersebut nafsu makan ikan akan meningkat. Menurut Cahyanti *et al.* (2014), ikan mas tidak terlalu memanfaatkan pelet serta lebih menyukai lumut dan pakan alami lainnya yang ada di tepian kolam atau sawah. Minapadi dapat menyediakan plankton lebih banyak seperti *Chlorella*. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan ikan menurut Febrianti *et al.* (2016) adalah faktor internal (diantaranya adalah umur dan sifat genetik ikan meliputi keturunan, kemampuan dalam memanfaatkan makanan dan ketahanan terhadap penyakit) dan faktor eksternal atau lingkungan (meliputi sifat fisika dan kimia air, ruang gerak dan ketersediaan makanan). FCR tinggi pada minapadi, diduga karena lingkungan tumbuh ikan menjadi lebih kondusif karena adanya naungan oleh tanaman padi yang menyebabkan air menjadi lebih sejuk, serangga kecil atau hama yang berjatuh dari tanaman padi dapat dimanfaatkan sebagai pakan oleh ikan, sehingga pakan yang diberikan tidak dimakan dan terbuang. Menurut DKPD (2010), FCR yang cukup baik berkisar antara 0.8–1.6. Besar kecilnya nilai FCR dipengaruhi oleh protein pakan (Barrows dan Hardy 2001), protein pakan yang sesuai kebutuhan nutrisi ikan dan jumlah pakan yang diberikan akan menyebabkan pemberian pakan yang efisien, semakin sedikit pakan yang diberikan akan semakin efisien (Shofuro *et al.* 2016). Dengan demikian, pada penelitian ini pakan yang diberikan masih belum efisien dan boros. Oleh karenanya, dibutuhkan penelitian lain guna meningkatkan efisiensi pakan pada budidaya ikan mas baik secara monokultur ataupun minapadi.

Tabel 13 Rataan bobot mutlak, panjang mutlak, tingkat kelangsungan hidup (SR), *feed conversion ratio* (FCR) dan produksi ikan dengan pemeliharaan selama 30 hari

Perlakuan	Bobot mutlak (g per ekor)	Panjang mutlak (cm)	SR (%)	FCR	Produksi ikan (ton ha ⁻¹)
Monokultur padi 100% pupuk anorganik	0	0	0	0	0
Monokultur ikan	25.87a	5.05a	85.00a	2.12a	0.52a
Minapadi 100% pupuk anorganik	19.84a	4.66ab	89.50a	3.64a	0.46a
Minapadi 60% pupuk anorganik	19.64a	3.62ab	89.50a	4.13a	0.48a
Minapadi 20% pupuk anorganik	15.86a	2.85b	91.00a	5.53a	0.41a
KK (%)	15.431	12.398	12.753	13.483	6.481

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α 10%. KK: Koefisien Keragaman.

Monokultur ikan dalam volume 12.5 m³ area pemeliharaan menghasilkan rata-rata bobot ikan sebesar 1.09 kg per petak. Minapadi dalam volume 5.05 m³ menghasilkan rata-rata bobot pada minapadi 100% pupuk anorganik sebesar 0.89 kg per petak, pada minapadi 100% pupuk anorganik sebesar 0.87 kg per petak dan pada minapadi 20% pupuk anorganik sebesar 0.72 kg per petak.

Analisis Usaha Tani pada Berbagai Perlakuan

Analisis usaha tani dilakukan untuk mengetahui keuntungan yang didapatkan dari selisih antara total biaya produksi dengan penerimaan usaha tani monokultur dengan minapadi. Monokultur padi dengan 100% pupuk anorganik menghasilkan B/C *ratio* 0.8 dan keuntungan Rp. 10.992.000. Minapadi dengan 100% pupuk anorganik menghasilkan B/C *ratio* 1.5 dan keuntungan Rp. 22.353.750. Minapadi dengan 60% pupuk anorganik menghasilkan B/C *ratio* 1.9 dan keuntungan Rp. 24.148.250. Minapadi dengan 20% pupuk anorganik menghasilkan B/C *ratio* 1.9 dan keuntungan Rp. 22.412.750. Monokultur ikan menghasilkan B/C *ratio* sebesar 1.1 dan keuntungan Rp. 11.001.250. Data secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 8–12.

Perlakuan monokultur padi didapatkan nilai B/C *ratio* ≤ 1 , maka usaha tani pada perlakuan tersebut dapat dikatakan kurang layak dikembangkan meskipun memperoleh keuntungan dengan R/C *ratio* ≥ 1 . Perlakuan monokultur didapatkan nilai B/C dan R/C *ratio* ≥ 1 , maka usaha tani dengan perlakuan tersebut masih dikatakan layak dikembangkan dan menguntungkan. Akan tetapi, keuntungan pada monokultur padi dan monokultur ikan lebih sedikit dibandingkan minapadi. Hal tersebut karena pada monokultur padi mendapatkan hasil padi saja dan tidak ada tambahan dari ikan bila dibandingkan dengan minapadi, sedangkan pada monokultur ikan hanya mendapatkan ikan dan tidak ada tambahan dari padi. Selain itu, perlakuan monokultur padi dan monokultur ikan membutuhkan biaya yang tidak sedikit pada mulanya, terutama kebutuhan pupuk baik pada padi ataupun pada kolam untuk budidaya ikan dan juga kebutuhan pakan yang diberikan serta kebutuhan-kebutuhan lainnya. Maka, keuntungan yang didapatkan pada perlakuan monokultur pun lebih sedikit bila dibandingkan dengan perlakuan minapadi, meskipun pada minapadi terjadi pengurangan dosis pupuk anorganik hingga 20%.

Minapadi lebih menguntungkan dibandingkan dengan monokultur, karena pada minapadi dapat mengoptimalkan sumber daya lahan dan air tawar sehingga digunakan secara optimal (Hu *et al.* 2015). Selain itu, minapadi juga dapat mengurangi input pupuk anorganik dari luar sebanyak 80%; perlakuan minapadi 20% dosis pupuk anorganik menghasilkan B/C *ratio* dan keuntungan yang lebih tinggi daripada minapadi dengan 100% dosis pupuk anorganik. Menurut Syahputra *et al.* (2016) bahwa pada dasarnya analisis biaya dan pendapatan pada setiap sistem budidaya padi, minapadi, dan budidaya ikan itu menguntungkan serta berkontribusi terhadap pendapatan rumah tangga petani, dan juga sistem minapadi lebih menguntungkan dibandingkan dengan lainnya. Menurut Bosma *et al.* (2012) bahwa dengan sebuah integrasi padi bersama ikan dapat memberikan petani pendapatan yang lebih tinggi dan meningkatkan produktivitas pertanian, minapadi juga dapat menjadi sebuah alat adaptasi perubahan iklim dalam konteks fisik, dan sosial ekonomi tertentu. Selain itu, integrasi antara tanaman dengan ikan



mampu menyediakan pupuk organik internal dan mampu memanfaatkan lahan secara efisien dan produktif dibandingkan dengan monokultur (Suwanto *et al.* 2015).

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Minapadi dapat mengurangi aplikasi pupuk anorganik melalui hubungan komplementer antara padi dan ikan. Pemberian pupuk anorganik 20% dosis acuan pada minapadi dengan ikan yang ditebar pada saat tanaman 90% bermalai menghasilkan produktivitas padi tidak berbeda nyata dengan pemberian pupuk anorganik 60% dan 100% dosis acuan pada minapadi dan 100% dosis acuan pada monokultur padi. 68% luas lahan efektif yang ditanam padi pada minapadi, menghasilkan produktivitas padi tidak berbeda nyata dengan monokultur 100% pupuk anorganik. Minapadi pada kondisi tanah awal dengan status hara nitrogen sedang, hara fosfor, kalium sangat tinggi dan pH agak alkalis, dapat menghemat sebesar 80% pupuk anorganik sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik. Kelangsungan hidup ikan dan bobot ikan pada minapadi tidak berbeda nyata dengan monokultur ikan.

Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah perlu adanya penelitian lain dengan menggunakan varietas padi IPB 3S dalam minapadi dengan status hara sama, tetapi dosis pakan beragam dan pertimbangan waktu saat ikan mas ditebar di lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Raouf N, Al-Homaidan A, Ibraheem IBM. 2012. Agricultural importance of algae. *Afr. J. Biotechnol.* 11(54):11648-11658.
- Abdulrachman S, Mejaya MJ, Agustiani N, Gunawan I, Sasmita P, Guswara A. 2013. *Panduan sistem tanam legowo*. Suharna, editor. Sukamandi (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Abdulrachman S, Mejaya MJ, Sasmita P, Guswara A. 2013. *Pengelolaan tanaman terpadu (PTT) padi sawah irigasi*. Suharna, editor. Sukamandi (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Achmad R. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi. 184 hlm.
- Akiyama H, Hayawa A, Sudo S, Yunemura S, Tanoaka T, Yagi K. 2009. Automated sampling system for long-term monitoring of nitrous oxide and methane fluxes from soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 55: 55:435-440.
- Akiyama H, Yan X, Yagi K. 2006. Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N₂O emissions from agricultural soils in Japan: summary of available data. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:774-787.

- Alabaster J, Lloyd. 1980. *Water Quality Criteria for Fish*. Italy (IT): Food and Agriculture Organization of the United Nations. 75 p.
- [APHA] American Public Health association. 1989. *Standard method for the examination of water and wastewater*. Water Pollution Control Federation. Mariland (MD). Port City Press.
- Arfiati D, Zakiyah U, Nabilah IS, Khoiriyah N, Jayanti, AS, Kharismayanti HF. 2018. Perbandingan LC₅₀-96 jam terhadap mortalitas benih ikan mas, *Cyprinus carpio* Linnaeus 1758 pada limbah penyamakan kulit dan insektisida piretroid. *JII*. 18(2):103-114.
- [BB Padi] Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2015. Pemupukan pada tanaman padi [Internet]. [diunduh 2017 Agt 28]. Tersedia pada: <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/berita/info-teknologi/content/226-pemupukan>.
- [BB Padi] Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2015. Hama pelipat daun dan cara pengendaliannya [Internet]. [diunduh 2018 Jan 08]. Tersedia pada: <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/varietas/tahukah-anda-/205-hama-pelipat-daun-dan-cara-pengendaliannya>.
- Balitbangtan [Internet]. 2017. Keuntungan Minapadi. [diunduh 2019 Juli 21]. Tersedia pada: www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/3041/.
- [BAPPENAS] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2018. Minapadi: Optimalkan Lahan Sawah, Dorong Produktivitas Perikanan Budidaya. [diunduh 2020 Nov 24]. Tersedia pada: <https://www.bappenas.go.id/id/berita-dan-siaran-pers/mina-padi-optimalkan-lahan-sawah-dorong-produktivitas-perikanan-budidaya/>.
- Barrow PA, Hardy. 2001. Probiotic for Chickens. Di dalam: *Probiotics the Scientific Basis*. Filler R, editor. London (UK): Chapman and Hall.
- Barus TA. 2004. *Pengantar Limnologi Studi tentang Ekosistem Air Daratan*. Medan (ID): USU Press. 96 hlm.
- Basto M, Pedroso N, Mira A, Santos RM. 2011. Use of small and medium-sized water reservoirs by otters in a Mediterranean ecosystem. *Animal Biology*. 61:75-94.
- Behera SN, Sharma M, Aneja VP, Balasubramanian R. 2013. Ammonia atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int*. 20(11):8092-8131.
- Bellinger EG, Sigeo DC. 2010. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators 1st*. Chichester (GB): John Wiley and Son Ltd. 271 p.
- Bergheim A, Aabel JP, Seymour EA. 1991. Past and present approaches to aquaculture waste management in Norwegian net pen culture operations. Di dalam Cowey CB, Cho CY, editor. *On Feeding Fish in our Water: Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (NSMAW)*. Proceedings of the 1st International Symposium: 1991 Jun 5-8; Ontario (CA): University of Guelph. 275 p.
- Borgonie G, Moyano AG, Litthauer D, Bert W, Heerden EV, Moller C, Erasmus M, Onstott TC. 2011. Nematoda from the terrestrial deep subsurface of South Africa. *Nature*. 474:79-82.
- Bosma RH, Nhan DK, Udo HMJ, Kaymak U. 2012. Factors affecting farmers' adoption of integrated rice-fish farming systems in the Mekong delta, Vietnam. *Aquaculture*. 4:178-190.



- Bowling L. 2008. Freshwater Phytoplankton: Diversity and Biology. Di dalam: Suthers IM, Rissik D, editor. *Plankton: A Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality*. Australia (AU): CSIRO Publishing. p 115-140.
- Bowatte S, Jia Z, Ishihara R, Nakajima Y, Asakawa S, Kimura M. 2006. Molecular analysis of the ammonia-oxidizing bacterial community in the surface soil layer of Japanese paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:427-431.
- Boyd CE. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama (US): Birmingham Publishing co. 482 p.
- Brett JR, Groves TDD. 1979. Physiological Energetics. Di dalam: Hoar WS, Randall, Brett JR. *Fish Physiology: Bioenergetic and Growth*. New York (NY). Academic Press. p 279-352.
- Briones AM, Okabe S, Umemiya Y, Ramsing NB, Reichardt W, Okuyama H. 2002. Influence of different cultivars on populations of ammonia-oxidizing bacteria in the root environment of rice. *Appl. Environ. Microbiol.* 68:3067-3075.
- Broyer J, Aulagnier S, Destre R. 1988. La loutre *Lutra lutra angustifrons* Lataste, 1885 au Maroc. *Mammalia*. 52:361-370.
- Brooker RJ, Widmaier EP, Graham LE, Stiling PD. 2011. *Biology 2nd*. New York (NY): The McGraw Hill Companies Inc. 127 p.
- Buresh RJ. 2006. *Site-specific nutrient management (SSNM) for rice*. Metro Manila (PH): International Rice Research Institute.
- Cahyaningrum W, Widiatmaka, Soewardi K. 2014. Arahana spasial pengembangan mina padi berbasis kesesuaian lahan dan analisis A'WOT di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. *Majalah Ilmiah Globe*. 15(1):77-88.
- Cahyanti W, Prakoso VA, Arifin OZ, Kusmini II. 2014. Produksi ikan unggul di lahan minapadi secara intensif. *Sains Natural*. 4(1):26-33
- Campbell NA, Reece JB, Mitchell LG. 2004. Biologi. Manalu W, penerjemah; Safitri A, editor. Jakarta (ID): Penerbit Erlangga. Terjemahan dari: *Biology*. Ed ke-5. 482 hlm.
- Chang KH, Sakamoto M, Hanazato T. 2005. Impact pesticide application on zooplankton communities with different densities of invertebrate predators: An experimental analysis using small-scale mesocosm. *Aquatic Toxicology*. 72:373-382.
- Chang TT, Bardenas EA. 1976. The morphology and variental characteristic of the rice plant. Technical Bulletin 4. Los Banos (PH): The International Rice Research Institute.
- Cheng-Fang L, Cou-Gui C, Jin-Ping W, Ming Z, Wei-Ling Y, Ahmad S, 2008. Nitrogen losses from integrated rice-duck and rice-fish ecosystems in southern China. *Plant Soil*. 307:207-217.
- Danovaro R, Gambi C, Anno AD, Corinaidesi C, Frascchetti S, Vanreusel A, Vincx M, Gooday AJ. 2008. Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. *Curr. Biol.* 18(1):1-8
- Daikuhara G, Imaseki T. 1907. On the behaviour of nitrate in paddy soils. *Bull. Imp. Central Agric. Exp. Stn.* 1:7-36.
- Dent FJ. 1978. *Land Suitability Classification: Soil and Paddy*. Los Banos (PH): The International Rice Research and Institute (IRRI). p 273-294.

- [DKPD] Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah. 2010. *Petunjuk Teknis Pembenihan dan Pembesaran Ikan Nila*. Palu (ID): Dinas Kelautan dan Perikanan Sulawesi Tengah.
- Doberman A, Fairhust T. 2000. *Rice Nutrient Disorder and Nutrient Management 1st*. Canada (CA): Oxford Graphic Printers Ltd. 191 p.
- Effendi BS. 2009. Strategi pengendalian hama terpadu tanaman padi dalam perspektif praktek pertanian yang baik (*good agriculture practice*). *Pengembangan Inovasi Pertanian*. Subang (ID): Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2(1):65-78.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air, Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta (ID): Kanisius. 258 p.
- Effendi I. 2004. *Pengantar Akuakultur*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya. 188 hlm.
- Effendie MI. 1979. *Metoda Biologi Perikanan*. Bogor (ID): Yayasan Dewi Sri. 112 hlm.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of United Nation. 2001. *Integrated Agriculture-Aquaculture A Primer, FAO Fisheries Technical Paper No 407*. Rome (IT): FAO. 149 p.
- Febrianti H, Sukarti K, Pebrianto CA. 2016. Pengaruh perbedaan sumber asam lemak pada pakan terhadap pertumbuhan ikan bawal bintang (*Trachinotus blochii*, Lecepede). *J. Aquawarman*. 2(1):24-33.
- Fengbo L, Zhiping S, Hangying Q, Xiyue Z, Chunchun X, Dianxin W, Fuping F, Jinfei F, Ning Z. 2019. Effect of rice-fish co-culture on oxygen consumption in intensive aquaculture pond. *Rice Sci*. 26(1):50-59.
- Ferdianto. 2013. Produktivitas ikan lele (*Clarias sp.*) pada sistem pendederan yang terintegrasi dengan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan ikan gurame (*Oshpronemus goramy L.*) [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- FishBash. 2020. *Common carp* [Internet]. [diunduh 2020 Sept 13]. Tersedia pada: <https://www.fishbase.in/summary/1450>.
- Frei M, Becker K. 2005. A greenhouse experiment on growth and yield effect in integrated rice-fish culture. *Aquaculture*. 244:119-128.
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Susilo dan Subiyanto, penerjemah. Jakarta (ID): UI Press. Terjemahan dari: *Physiology of Crop Plants*. 428 hlm.
- Garno YS. 2012. Dampak eutrofikasi terhadap struktur komunitas dan evaluasi metode penentuan kelimpahan fitoplankton. *J. Tek. Ling*. 13(1):67-74.
- Garcia-Berthou E. 2001. Size- and depth-dependent variation in habitat and diet of the common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquat. Sci*. 63:466-476.
- Gross A, Boyd CE, Wood CW. 2000. Nitrogen transformation s and balance in channel catfish pond. *Aquac. Eng*. 24:1-14.
- Gunawan, Wijayanto N, Budi RSW. 2019. Karakteristik sifat kimia tanah dan status esuburan tanah pada agroforestri tanaman sayuran berbasis *Eucalyptus sp.* *J. Silvikultur Tropika*. 10(2):63-69.
- Hamdani KK, Murtiani S. 2014. Aplikasi sistem jajar legowo untuk meningkatkan produktivitas padi sawah. *Agros*. 16(2):285-291.
- Hardjowigeno S. 2010. *Ilmu Tanah*. Jakarta (ID): CV Akademika Pressindo. 248 hlm.
- Hargareaves JA. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*. 166(3-4):181-212.



- Hariance R, Annisa N, Budiman C. 2018. Kelayakan finansial agroindustri pepaya (*Carica papaya* L.) di Nagari Batu Kalang kecamatan Padang Sago kabupaten Padang Pariaman. *Jurnal AGRIFO*. 3(1):1-9.
- Harjadi SS. 1979. *Pengantar Agronomi*. Jakarta (ID): Gramedia. 195 hlm.
- Hayatsu M, Tago K, Saito M. 2008. Various players in the nitrogen cycle: diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Sci. Plant Nutr*. 54:33-45
- Heggberget TM, Moseid KE. 1994. Prey selection in coastal Eurasian otters *Lutra lutra*. *Ecography*. 17:331-338.
- Henderson-seller B, Markland HR. 1987. *Decaying lakes the origin and control of cultural eutrofication*. New York (NW): John and Wiley Sons Ltd. p. 5-153.
- Hirota Y, Fujii T, Sano T, Iyama S. 1978. Nitrogen fixation in the rhizosphere of rice. *Nature*. 276:416-417.
- Hu L, Ren W, Tang J, Li N, Zhang J, Chen X. 2013. The productivity of traditional rice-fish co-culture can be increased without increasing nitrogen loss to the environment. *Agric. Ecosys. Environ*. 177:28-34.
- Hu L, Tang J, Zhang J, Ren W, Guo L, Halwart M, Li K, Zhu Z, Qian Y, Wu M, Chen X. 2015. Development of rice-fish system: today and tomorrow. *Chin. J. Ecol*. 23 (3):268-275.
- Hussain Q, Liu Y, Jin Z, Zhang A, Pan G, Li L, Crowley D, Zhang X, Song X, Cui L. 2011. Temporal dynamics of ammonia oxidizer (amoA) and denitrifier (nirK) communities in the rhizosphere of a rice ecosystem from Tai Lake region, China. *Appl. Soil Ecol*. 48:210-218.
- Ikhwan, Pratiwi GR, Paturrohan E, Makarim AK. 2013. Peningkatan produktivitas padi melalui penerapan jarak tanam jajar legowo. *Iptek Tanaman Pangan*. 8(2):72-79.
- Ishii S, Ikeda S, Minamisawa K, Senoo K. 2011. Nitrogen cycling in rice paddy environments: past achievements and future challenges. *Microbes. Environ*. 26(4):282-292.
- [ITIS] Integrated Taxonomy Information System. 2017. *Ciprynus carpio* [Internet]. [diunduh 15 Sept 2017]. Tersedia pada: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?searchtopic=TSN&searchvalue=163344#null>.
- [ITIS] Integrated Taxonomy Information System. 2019. *Copepoda* [Internet]. [diunduh 5 Mar 2019]. Tersedia pada: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=85257#null.
- Jena AK, Biswas P, Pattanaik SS, Panda A. 2017. An introduction to freshwater planktons and their role in aquaculture. *Aquaculture Time*. 3(2):10-13.
- Kaga H, Mano H, Tanaka F, Watanabe A, Kaneko S, Morisaki H. 2009. Rice seeds as sources of endophytic bacteria. *Microbes Environ*. 24:154-162.
- Kilham SS, Kilham P. 1978. Natural community bioassays: prediction of results based on nutrition physiology and competition. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol*. 20:68-74.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan perikanan Republik Indonesia. 2016. *Petunjuk teknis cara budidaya mina padi*. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Direktorat Produksi dan Usaha Budidaya. Kementerian Kelautan dan perikanan (ID). 54 hlm.

- Kobayashi T, Shiel RJ, King AJ, Miskiewicz AG. 2008. Freshwater zooplankton: diversity and biology. Di dalam: Suthers IM, Rissik D, editor. *Plankton: A Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality*. Australia (AU): CSIRO Publishing, p 157-179.
- Kordi MG. 2009. *Budidaya Perairan Edisi ke-2*. Bandung (ID): Citra Aditya Bakti. 964 hlm.
- Kumar A, Sahu R. 2012. Diversity of algae (Chlorophyceae) in paddy fields of Lalgotwa area, Ranchi, Jharkhand. *J. Appl. Pharm. Sci.* 2(1):092-095.
- Kurniasih T. 2008. Peranan pengapuran dan faktor fisika kimia air terhadap pertumbuhan dan sintasan lobster air tawar (*Cherax* sp.). *Media Akuakultur.* 3(2):126-132.
- Lakitan B. 2007. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta (ID). Raja Grafindo Persada. 203 hlm.
- Lanszki J, Szeles LG, Yoxon G, Szeles L. 2009. Diet composition of ooters (*Lutra lutra* L.) living on small watercourses in southwestern Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae.* 55:293-306.
- Lazzari R, Baldisserotto B. 2008. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *B. Inst. Pesca.* 34(4):591-600.
- Lekha D. 2015. Klasifikasi dan morfologi ikan mas (latin: *Cyprinus caprio*). *Ikan air tawar* [Internet]. [diunduh 2017 Apr 12]. Tersedia pada: <http://www.majalahikan.com/2016/02/klasifikasi-ikan-mas.html>.
- Li F, Feng J, Zhou X, Xu C, Jijakli MH, Zhang W, Fang F. 2019. Impact of rice-fish/shrimp co-culture on the N₂O emission and NH₃ volatilization in intensive aquaculture ponds. *Sci. Total Environ.* 655:284-291.
- Li YL, Zhang YL, Hu J, Shen QR. 2007. Contribution of nitrification happened in rhizospheric soil growing with different rice cultivars to N nutrition. *Biol. Fertil. Soils.* 43:417-425.
- Magfiroh N, Lapanjang IM, Made U. 2017. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada pola jarak tanam tanam yang berbeda dalam sistem tabela. *e-J. Agrotekbis.* 5(2):212-221.
- Majdi N, Traunspurger W. 2015. Free-living Nematodes in the freshwater food web: a review. *Journal of Nematology.* 47(1):28-44.
- Makarim AK, Suhartatik E. 2009. *Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi*. Subang (ID): Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 36 p.
- Mallya YJ. 2007. The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. Reykjavik (IS): UNU-Fisheries Training Programme.
- Mano H, Morisaki H. 2008. Endophytic bacteria in the rice plants. *Microbes Environ.* 23:109-117.
- Ma'ruf NSA. 1980. Kebiasaan ikan mas (*Cyprinus carpio* Linn.) dan ikan tambak (*Helostoma temmicki*) C.V. di kolam yang dipuouk triple superphosphat (TSP) dan kotoran ayam serta campuran keduanya [karya ilmiah]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Morgan DK, Hicks BJ. 2013. A metabolic theory of ecology applied to temperature and mass dependence of N and P excretion by common carp. *Hydrobiologia.* 705:135-145.
- Marschner P. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Ed.* London (GB): Academic Press Limited. 651 p.



- Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2013. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid 1*. Bogor (ID): IPB Press. 360 hlm.
- Miao Y, Stewart BA, Zhang F. 2010. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China, A review. *Agron. Sustain. Dev.* 31:397-414.
- Mizuno T. 1987. *Illustrations of The Freshwater Plankton of Japan 2nd*. Osaka (JP): Hoikusha Publishing Co. Ltd. 353 p.
- Mirzaei R, Danehkar A, Abdoli A. 2014. The diet of Eurasian otters in the Jajrood River System, Iran. *Mammal Study.* 39:33-41.
- Mohanty RK, Verma HN, Brahmanand PS, 2004. Performance evaluation of rice–fish integration system in rainfed medium land ecosystem. *Aquaculture.* 230:125-135.
- Murata Y. 1969. Physiological responses to nitrogen in plants. Di dalam: Eastin JD, Haskins FA, Sullivan CY, Bavel CHM, Dinauer RC. *Physiological aspect of crop yield*. Wisconsin (WI): ASA CSSA Madison. p 235-259.
- [NCC] Nature Conservancy Council. 1990. *Fish Farming and the Scottish Freshwater Environment. NCC Contract No. HF3–03–450*. Edinburgh (UK): Nature Conservancy Council. 285 p.
- Nisa SK. 2018. Kajian sifat kimia dan biologi tanah sawah terhadap hasil produksi padi (*Oryza sativa* L.) (studi kasus salah satu segmen sawah irigasi di Desa Sumurgeneng, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur) [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nishimura S, Sawamoto T, Akiyama H, Sudo S, Cheng W, Yagi K. 2005. Continuous, automated nitrous oxide measurements from paddy soils converted to upland crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1977-1986.
- Noorhosseini-Niyaki SA, Bagherzadeh-Lakani F. 2013. Ecological and biological effect of fish farming in rice fields. *PGCP.* 2(2):1-7.
- Nugroho E. 2007. Pemuliaan ikan mas: pelajaran berharga dari Hongaria. *Media Akuakultur.* 2(1):151-155.
- Nurhidayati, Pujiwati I, Solichah A, Djuhari, Basit A. 2008. *Pertanian Terpadu*. Suatu kajian pertanian terpadu dan berkelanjutan. Malang (ID): Fakultas Pertanian Universitas Islam Malang. 185 hlm.
- [NRC] National Research Council. 1977. *Nurient Requirement of Warmwater Fishes*. Washington DC (WA). National Academic Press. 87 p.
- Nursyamsi D, Asikin S, Cahyana D. 2013. *Jurus klasik pengusir tikus*. Ballitra. Banjarbaru (ID): Balai Penelitian Lahan Rawa.
- Odum EP. 1993. *Dasar-dasar Ekologi*. Yogyakarta (ID): Universitas Gajah Mada. 431 hlm.
- Oehme M, Frei M, Razzak MA, Dewan S, Becker A. 2007. Studies on nitrogen cycling under different nitrogen inputs in integrated rice-fish culture in Bangladesh. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 79:181-191.
- Ohta K, Suematsu N, Ohtsuka H, Toda M. 1986. Effect of soil and N₂-fixing bacteria on nitrogen-fixing activity of rice plants. *Bull. Shizuoka Agr. Exp. Stn.* 31:1-8.
- Pandey R, Paul V, Das M, Meena M, Meena RC. 2017. Plant growth analysis. Division of Plant Physiology. ICAR-Indian Agricultural Research Institute (IARI). New Delhi (IN). p 103.

- Parkos JJ, Santucci VJJ, Wahl DH. 2003. Effects of adult common carp (*Cyprinus carpio*) on multiple trophic levels in shallow mesocosms. *Can J. Fish Aquat Sci.* 60:182-192.
- Prasetyo BH, Setyorini D. 2008. Karakteristik tanah sawah dari endapan aluvial dan pengelolaannya. *Jurnal Sumberdaya Lahan.* 2(1):1-14
- Patti PS, Kaya E, Silahooy CH. 2013. Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Agrologia.* 2(1):51-58.
- Permatasari DW. 2012. Kualitas air pada pemeliharaan ikan nila *Oreochromis sp.* Intensif di kolam departemen budidaya perairan Institut Pertanian Bogor [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Plantamor. 2016. *Oryza sativa*. Klasifikasi Tumbuhan. Database tumbuhan [Internet]. [diunduh 2017 Apr 12]. Tersedia pada: http://www.plantamor.com/database/database-tumbuhan/daftar-tumbuhan_i618?genus-page=all&src=1&skw=oryza&g=Oryza&s=sativa.
- Plantamor. 2018. Mengkudu (*Morinda citrifolia*). Klasifikasi Tumbuhan. Database tumbuhan [Internet]. [diunduh 2018 Mar 08]. Tersedia pada: <http://plantamor.com/species/info/morinda/citrifolia>.
- [PP RI] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82. 2001. Pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.
- Prasad D, Siddaraju. 2012. Carlsun's trophic state index for assessment of trophic status of to lakesin Mandya District. *J. Adv. Appl. Sci. Res.* 3(5):2992-2996.
- Purwanto E, Rauf A, Made U. 2017. Uji pola jajar legowo pada beberapa varietas padi sawah (*Oryza sativa* L.) Budidaya SRI. *E-J. Agrotekbis.* 5(6):653-660.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983. *Jenis dan Macam Tanah di Indonesia untuk Keperluan Survey dan Pemetaan Tanah Daerah Transmigrasi*. Bogor (ID). Pusat Penelitian Tanah.
- Rahman MM. 2015. Role of common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaculture production system. *Frontiers in Life Science.* 8(4):399-410.
- Rahman MM, Kadowaki S, Balcombe SR, Wahab MA. 2010. Common carp (*Cyprinus carpio* L.) alter their feeding niche in response to changing food resources: direct observations in simulated ponds. *Ecol. Res.* 25:303-309.
- Rahman MM, Meyer CG. 2009. Effects of food type on diel behaviours of common carp *Cyprinus carpio* L. in simulated aquaculture pond conditions. *J. Fish Biol.* 74:2269-2278.
- Rahman MM, Verdegem MCJ, Nagelkerke LAJ, Wahab MA, Milstein A, Verreth JAJ. 2008. Effects of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and feed addition in rohu *Labeo rohita* (Hamilton) ponds on nutrient partitioning among fish, plankton and benthos. *Aquacult. Res.* 39:85-95.
- Rahman MM, Verdegem MCJ, Nagelkerke LAJ, Wahab MA, Verreth JAJ. 2008. Swimming, grazing and social behaviour of rohu *Labeo rohita* (Hamilton) and common carp (*Cyprinus carpio* L.) in tanks under fed and non-fed conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 113:255-264.
- Rana SS, Chopra P. 2013. *Integrated Farming System*. Palampur (IN): Himachal Pradesh Agriculture University. 90 p.
- Redden AM, Kobayashi T, Suthers I, Boling L, Rissik D, Newton G. 2008. Plankton processes and the environment. Di dalam: Suthers IM, Rissik D,



editor. *Plankton: a guide to their ecology and monitoring for water quality*. Australia (AU): CSIRO Publishing. hlm 15-38.

Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. 2011. *Campbell Biology 9th Ed*. San Fransisco (US): 1472 p.

Rejeki S, Aryati RW, Widawati LL. 2019. Pengantar akuakultur. Semarang (ID): Undip Press. 102 hlm.

Rohmawati SM, Sutarno, Mujiyo. 2016. Kualitas air irigasi pada kawasan industry di kecamatan Kebakkramat kabupaten Karanganyar. *J. Sustainable Agric*. 31(2):108-113.

Rosenthal H, Weston D, Gowen R, Black E, Ackefors H, Aure J, Drinkward AC, Duskina LA, Ervik A, Heral M, Makinen J, Sampayo MA, Wildish DJ, Pursianen M. 1988. Report of the ad hoc Study Group on Environmental Impact of Mariculture. *Coop. Res. Rep*. 154:83 p.

Rothuis AJ, Vromant N, Xuan VT, Richter CJJ, Olllevier F. 1999. The effect rice seeding rate on rice and fish production, and weed abundance in direct-seeded rice-fish culture. *Aquaculture*. 172:255-274.

Saerodji. 2013. Sistem jajar legowo dapat meningkatkan produktifitas padi [Internet]. Malang (ID): Balai Besar Pelatihan Pertanian Ketindan. [diunduh 2019 Mar 23]. Tersedia pada: <http://bbppketindan.bppsdp.pertanian.go.id/blog/system-jajar-legowo-dapat-meningkatkan-produktifitas-padi>.

Sanderson MA, Archer D, Hendrickson J, Kronberg S, Liebig M, Nichols K, Schmer M, Tanaka D, Aguilar J. 2013. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: outcomes from pastures and integrated crop-livestock systems. *Renewable Agric. Food Syst*. 28(2):129-144.

Samudra SR, Soeprowati TR, Izzati M. 2013. Komposisi, kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton danau Rawa Pening Kabupaten Semarang. *Bioma*. 15(1):6-13.

Sasakawa H, Yamamoto Y. 1978. Comparison of the uptake of nitrate and ammonium by rice seedlings. *Plant Physiol*. 62:665-669.

Schlesinger WH. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change 2nd Ed*. San Diego (CA): Academic Press. 588 p.

Siikavuopio SI, Knudsen R, Amundsen PA, Saether BS, James P. 2012. Effect of high temperature on growth of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) *Aquacult. Res*. 44(1):8-12.

Singh R, Singh RP, Singh DV. 2016. Effect of nitrogenous fertilizers (urea and ammonium chloride) on plant characters and yield of rice. *Int. J. Adv. Res*. 4(10):1879-1882.

Singh U. 2008. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. *J. Crop. Improv*. 15(2):259-288.

Simangunsong M. 2013. Analisis produktivitas beberapa tipe padi [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Siregar A, Marzuki I. 2011. Efisiensi pemupukan urea terhadap serapan N dan peningkatan produksi padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Budidaya Pertanian*. 7(2):107-176.

Siregar H. 1981. *Budidaya Tanaman Padi di Indonesia*. Jakarta (ID): Sastra Hudaya. 320 hlm.

- Siregar IZ, Khumaida N, NovianaD, Wibowo MH, Azizah. 2013. *Buku varietas tanaman unggul Institut Pertanian Bogor*. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Shofuro H, Suminto, Chilmawati D. 2016. Pengaruh penambahan “probio-7 pada pakan buatan terhadap efisiensi pemanfaatan pakan, pertumbuhan dan kelulushidupan benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*. 1(1):1-20.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia nomor 01-3718. 2013. *Dedak Padi-Bahan Pakan Ternak*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Soedibyo BRAM. 1998. *Alam Sumber Kesehatan: Manfaat dan Kegunaan*. Jakarta (ID): Balai Pustaka. 412 hlm.
- Sudiarta IM, Syamun E, Syamsuddin R. 2016. Pertumbuhan dan produksi tanaman padi serta produksi ikan nila pada sistem tanam jajar legowo. *J. Sains dan Teknologi*, 16(1):70-80.
- Suharso. 2014. Pengaruh sistem tanam jajar legowo. *Saintis*. 6(1):27-40.
- Sukria HA, Krisnan R. 2009. *Sumber dan Ketersediaan Bahan Pakan di Indonesia*. Bogor (ID): IPB Press.
- Sulaeman, Suparto, Eviati. 2005. *Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sunarno. 1991. Pemeliharaan ikan jelawat (*Leptobarsa hoeveni*) dengan frekuensi pemberian pakan yang berbeda. *Bul. Perik. Darat*. 10(2):76-80.
- Suparwito. 2010. Penerapan sistem tanam legowo pada usahatani padi untuk meningkatkan produksi dan pendapatan petani. *Jurnal Pembangunan Manusia*. 4(10):60-67.
- Suriapermana S, Syamsiah I, Wardana P, Fagi MA. 1989. *Petunjuk praktis sistem usaha tani padi ikan dan padi-ikan itik di lahan sawah*. Sukamandi (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sutrisna N, Nadimin, Ishaq I, Putra S. 2012. *Panduan metode ubinan padi jajar legowo*. Bandung (ID): Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Barat.
- 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.
- Syahputra BSA, Jambari, Ali H. 2016. Comparison finansial analyses among rice farming, rice-fish farming and fish only on a smallholders' community in Teluk Intan, Perak, Malaysia. *World J Fish & Marine Sci*. 8(4):170-176.
- Taiz L, Zeiger E. 2010. *Plant Physiology 5th Ed*. Massachusetts (AS): Sinauer Associates, Inc. Publisher. 623 p.
- Tan TH, Leaw CP, Leong SCY, Lim LP, Chew SM, Teng ST, Lim PT. 2016. Marine micro-phytoplankton of Singapore, with a review of harmful microalgae in the region. *Raffles Bulletin of Zoology*. 34:78-96.
- Tesar MB. 1984. *Physiology Basic of Crop Growth and Development*. Wisconsin (WI): American Society of Agronomy. 341 p.
- Tiku GV. 2008. Analisis pendapatan usaha tani padi sawah menurut sistem mina padi dan sistem no mina padi (Kasus Desa Tapos I dan Desa Tapos II, Kecamatan Tenjolaya, Kabupaten Bogor, Jawa Barat) [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Thurman EM. 1985. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. Dordrecht (NL): Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. 497 p.
- Tjitrosomo SS. 2008. *Botani Umum 2*. Bandung (ID): Penerbit Angkasa. 184 hlm.
- Tjitrosoepomo G. 2009. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press. 268 hlm.
- Tsuruta T, Yamaguchi, M, Abe S, Iguchi K, 2011. Effect of fish in rice-fish culture on the rice yield. *Fish. Sci.* 77:95-106.
- Tungka AW, Haeruddin, Ain C. 2016. Konsentrasi nitrat dan ortofosfat di muara sungai banjir kanal barat dan kaitannya dengan kelimpahan fitoplankton *Harmful Alga Blooms* (HABs). *Saintek Perikanan*. 12(1):40-46.
- Vuuren SJV, Taylor J, Ginkel CV, Gerber A. 2006. *Easy Identification of the Most Common Freshwater Algae: A Guide for the Identification of Microscopic Algae in South African Freshwaters*. South Africa (ZA): North-West University and Departement of Water Affairs and Forestry. 211 p.
- Vromant N, Chau NTH. 2005. Overall effect of rice biomass and fish on the aquatic ecology of experimental rice plots. *Agric. Ecosyst. Environ.* 111:153-165.
- Vromant N, Duong LT, Ollevier F. 2002. Effect of fish on the yield and yield components of rice in integrated concurrent rice fish systems. *J. Agric. Sci.* 138:63-71.
- Vromant N, Rothuis AJ, Cuc NTT, Ollevier F. 1998. The effect of fish on the abundance of the caseworm *Nymphula depuncalis* (Guene'e) (Lepidoptera: Pyralidae) in direct seeded, concurrent rice-fish fields. *Biocontrol. Sci. Technol.* 8:539-546.
- Wang A, Ma X, Xu J, Lu W. 2019. Methane and nitrous oxide emissions in rice-crab culture systems of northeast China. *Aquac. Fish.* 4:134-141.
- Watanabe I. 1982. Azolla-Anabaena symbiosis-its physiology and use in tropical agriculture. Di dalam: Dommergues YR, Diem HG, editor. *Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity*. Dordrecht (NL): Martinus Niihoff/Dr W. Junk Publishers. p. 169-186.
- Xie J, Hu L, Tang J, Wu X, Li N, Yuan Y, Yang H, Zhang J, Luo S, Chen X. 2011. Ecological mechanism underlying the sustainability of the agriculture heritage rice-fish coculture system. *PNAS*. 108(50):E1381-E1387.
- Xiang J, Haden VR, Peng S, Bouman BAM, Huang JL, Cui KH, Visperas RM, Zhu D, Zhang Y, Chen H. 2013. Effect of deep placement of nitrogen fertilizer on growth, yield, and nitrogen uptake of aerobic rice. *AJCS*. 7(6):870-877.
- Yathavamoorthi R, Surendraraj A, Sabeena FKH. 2010. Enteric bacteria and water quality of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) in culture environment from Kerala, India. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 5:282-292
- Yoo ID, Kimura M, Wada H, Takai Y. 1991. Successions and activities of N₂ fixing microorganisms in the paddy field surface-applied with rice straw. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 62:339-344
- Yoshida S. 1981. *Fundamentals of rice science*. Los Banos (PH): The International Rice Research Institute.
- Yusuf IA. 2014. Kajian kriteria mutu air irigasi. *Jurnal Irigasi*. 9(1):1-15.

- Zhang K, Xie J, Yu DG, Wang GJ, Yu EM, Gong WB, Li ZF, Wang CC, Xia Y. 2018. A comparative study on the budget of nitrogen and phosphorus in polyculture systems of snakehead with bighead carp. *Aquaculture*. 483:69-75.
- Zhang ZQ. 2013. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013). *Zootaxa*. 3703(1):005-011.
- Zonneveld N, Huisman EA, & Boon JH. 1991. *Prinsip-prinsip Budidaya Ikan*. Jakarta (ID): Gramedia Pustaka Utama. 317 hlm.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sukabumi pada tanggal 22 Oktober 1992. Penulis merupakan anak ke-dua dari pasangan Bapak Abidin dan Ibu Eni Suhaeni. Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Terpadu Darul ‘Amal program IPA, lulus pada tahun 2011. Kemudian, pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi di Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pasundan dan lulus pada tahun 2015. Tahun 2016, penulis diterima di Program studi Agronomi dan Hortikultura pada program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

