

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai sejarah minapadi di Indonesia, metode minapadi, kriteria teknologi ramah lingkungan, kualitas air yang baik dan model awal untuk penerimaan minapadi. Hal tersebut digunakan sebagai studi minapadi sebagai teknologi ramah lingkungan dan model penerimaan untuk minapadi pada petani Sleman, DIY.

A. Minapadi

Metode persawahan telah mengalami banyak perkembangan. Metode minapadi merupakan salah satu perkembangan metode persawahan. Minapadi termasuk sistem *ecological intensification*. Sistem ini merupakan suatu cara untuk meningkatkan panen (yield) dengan berbagai cara seperti diversifikasi organisme yang terdapat pada suatu wilayah sehingga dapat menyuburkan tanah dan juga menghilangkan hama tanpa menggunakan bahan kimia untuk menghindari dampak global warming (Bommarco *et al.*, 2018).

Ardiwinata (1957) menyampaikan bahwa metode minapadi telah dikenal di Indonesia sejak abad 19, metode ini lebih banyak digunakan di daerah Jawa Barat khususnya di daerah Bandung. Akan tetapi, Cai, Ni dan Wang, (1995) berpendapat bahwa minapadi (*rice-fish culture*) telah dilakukan di China sejak 1.700 tahun yang lalu atau sekitar abad ke 2. Negara-negara seperti Bangladesh, Kamboja, Mesir, Korea, Madagascar, Thailand dan Vietnam juga memiliki metode minapadi (Saikia dan Das, 2008). Pada tahun 2005, metode ini ditunjuk menjadi warisan sistem pertanian yang penting untuk dunia (*Globally Important Ingenious Agricultural Heritage Systems/GIAHS*) oleh *Food Agriculture Organization* (FAO) (Halwart dan Gupta, 2004).

Di Indonesia perkembangan metode minapadi diawali dengan kebiasaan para petani menggunakan sawah menjadi kolam ikan setelah dilakukan panen, lalu ada yang menggunakan sebagai penyelang penanaman padi, dan ada yang mengembangbiakan ikan saat bersamaan dengan penanaman padi (Ardiwinata, 1957). Di Afrika metode minapadi dilakukan dengan memanfaatkan air hujan untuk membuat kolam di area persawahan. Minapadi terdiri dari ikan dan padi yang akan bersimbiosis mutualisme untuk mengurangi hama dan penyakit ikan (Halwart dan Gupta, 2004; Nurhayati *et al.*, 2016)

Mutualisme pada minapadi

Hubungan antara spesies makhluk hidup berbagai macam. Terdapat hubungan yang berkompetisi/*competition* (-,-), saling menguntungkan/*mutualisme* (+,+), menguntungkan sebelah pihak/*commensalims* (+,0)/ amensalism (0,+), salah satu pihak untung pihak lain dirugikan/*predator/parasitisme* (+,-) dan merugikan salah satu pihak (-,0) (Polis *et al.*, 1989). Mutualisme merupakan hubungan antara makhluk hidup yang saling menguntungkan, istilah ini telah digunakan sejak tahun 1875 dimana terdapat hubungan *mutualisme* secara langsung (*direct*), dan *mutualisme* tidak langsung (*indirect*) (Boucher *et al.*, 1982). Hubungan *mutualisme* dapat direkayasa

dengan cara menggabungkan sejumlah makhluk hidup pada suatu tempat untuk menciptakan kondisi saling menguntungkan semua pihak, seperti contoh minapadi. Hubungan antara makhluk hidup tidak selamanya stabil, suatu hubungan dapat berubah dari *mutualisme* menjadi *predator* (Boucher *et al.*, 1982).

Seperti yang telah dibahas pada pendahuluan, minapadi merupakan metode yang mengandalkan pola hubungan mutualisme antara makhluk hidup khususnya ikan dan padi (Cai *et al.*, 1995; Lestari dan Bambang, 2017). Ikan diharapkan mendapat keuntungan berupa pakan dari organisme yang muncul akibat adanya padi (plankton dan bentos), sedangkan padi mendapat pasokan unsur penyubur dari kotoran ikan. Tingkat makanan utama dapat terlihat pada *Index of preponderance* dan *index of electivity* (Effendie, 1979). *Index of preponderance* merupakan gabungan metode frekuensi dan volumetrik, sedangkan indeks pilihan merupakan perbandingan antara organisme pakan ikan yang terdapat dalam perairan. Preferensi tiap organisme atau jenis plankton yang terdapat dalam usus ikan ditentukan berdasarkan pilihan. Hal ini mengakibatkan diperlukannya pemilihan individu yang sesuai dalam satu minapadi, pemilihan individu yang kurang tepat dapat mengakibatkan perubahan pola hubungan yang ada.

Prosedur minapadi

Secara teknis (Direktur Jenderal Perikanan Budidaya, 2016) penentuan metode minapadi diawali dengan penentuan lokasi, areal persawahan yang dapat digunakan untuk minapadi adalah sawah beririgasi yang memenuhi persyaratan kualitas dan tersedia selama masa pemeliharaan. Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan baku mutu budidaya dan sanitasi, tidak tercemar. Sistem pengairan memiliki pengaturan air yang baik, sehingga air mudah untuk dikendalikan. Air yang digunakan harus dapat mencukupi untuk proses produksi dengan debit 0,3 liter/detik - 0,5 liter/detik per 1000 m². Lokasi harus bebas banjir dan sesuai dengan rencana tata ruang dan wilayah. Ketinggian lahan sekitar 0 – 700 meter diatas permukaan laut dan kemiringan tanah relatif rendah. Tanah yang dipilih berkarakter tanah liat berpasir dan tidak porous. Pematang harus kuat untuk menahan air minimal 30 cm dari pelataran sawah dengan lebar minimal 50 cm. Areal sawah memiliki akses jalan untuk memudahkan pengangkutan dan pemasaran. Pengontrolan yang efektif areal lokasi dekat dengan penduduk. Metode minapadi dapat digunakan untuk menghasilkan benih ikan dan juga untuk pembesaran ikan. Proses pembenihan ikan umumnya menerapkan sistem tumpang sari dan sistem penyelang, sedangkan metode minapadi untuk menghasilkan ikan konsumsi dilakukan dengan sistem tumpang sari dan palawija.

Minapadi sistem penyelang digunakan untuk menghasilkan ukuran benih jenis seperti: nila, mas, tawes, nilam, lele, gurami, patin dan ikan lainnya. Sistem penyelang memerlukan lahan yang bebas dari jerami dan terjaga dari kebocoran perlengkapan yang diperlukan untuk menunjang sistem ini adalah kawat, bambu atau jaring. Tanah dasar kolam perlu diolah dengan cara dibalik. Sistem ini memerlukan caren keliling dengan lebar 40–100 cm, kedalaman 60–100 cm dan caren penampungan (kobakan

panen) dengan ukuran 1x2 m dengan kedalaman 50–75 cm. Pupuk yang digunakan adalah pupuk organik dengan dosis 150–500 gram/m² dan kapur dengan dosis 50 gram/m² yang diberikan setelah petakan digenangi air setinggi 30–40 cm dan suplai air terus-menerus. Benih ikan yang ditebar sekitar 100.000 ekor/ha/musim tanam dengan ukuran tebar 1–3 cm. Pakan tambahan untuk ikan berupa pelet halus sebanyak 20% dari bobot total ikan, dengan frekuensi 2 kali sehari. Ketinggian air di pelataran sawah selama masa pemeliharaan adalah 30–40 cm. Perlu dilakukan pembalikan tumpukan jerami 3 hari sekali untuk mempercepat proses pembusukan dan pertumbuhan pakan alami. Proses monitoring kualitas air dilakukan agar kualitas air sesuai dengan standar pemeliharaan ikan. Panen ikan dilakukan 2–3 hari sebelum tanam padi.

Minapadi sistem tumpang sari dilakukan dengan persiapan lahan sesuai dengan kebutuhan penanaman padi dan pemeliharaan ikan. Sama seperti sistem penyelang, sistem ini memerlukan peralatan seperti saringan yang terbuat dari kawat, bambu atau jaring dan perlu dilakukan pengolahan tanah. Caren yang digunakan sama seperti sistem penyelang. Dengan sistem ini caren dapat dibuat kolam dalam dengan ukuran 0,8 – 1 meter. Pemupukan dasar dan susulan dilakukan dengan dosis 50% dari dosis pemupukan yang biasa digunakan dalam kondisi sawah masih berlumpur. Padat penebaran dan ukuran ikan disesuaikan dengan tujuan penanaman, penebaran pertama benih berukuran 5-8 cm (*fingerling*) dengan padat penebaran 5–10 ekor/m² dilakukan setelah penanaman bibit padi berumur sekitar 7 hari. Pakan tambahan berupa pelet halus dengan dosis maksimal 3% dari berat bobot biomassa. Monitoring kualitas air dilakukan agar kualitas air sesuai dengan standar pemeliharaan ikan. Panen ikan dilakukan 7 hari sebelum panen padi pada pagi atau sore hari saat suhu udara rendah.

Minapadi Sistem Palawija meliputi persiapan lahan, penebaran benih, pemeliharaan, panen serta monitoring kualitas air sama seperti sistem tumpang sari, perbedaan dalam sistem ini pemeliharaan ikan tidak dilakukan bersama padi. Secara umum persiapan metode minapadi dilakukan dengan mempersiapkan lahan. Tanah diolah sampai kedalaman 15 – 20 cm sampai perbandingan lumpur dan air 1:1. Pematang dibuat padat dan kokoh agar tidak mudah bocor dan longsor. Ukuran lebar dasar pematang 40 – 50 cm, lebar atas 30 – 40 cm dan tinggi 30 – 40 cm. Pematang diusahakan terbebas dari gulma agar hama padi maupun ikan tidak bersarang. Caren dibuat sebelum pengolahan tanah dimulai diukur secara baik sehingga kedalamannya sesuai yang dikehendaki. Fungsi caren sebagai media hidup ikan, tempat memberi makan ikan, memudahkan ikan bergerak ke seluruh petakan serta memudahkan panen ikan. Terdapat syarat wadah minapadi yaitu wadah pembesaran berupa petakan sawah harus mampu menampung air, wadah dapat dikeringkan dengan sempurna, pintu air masuk dan keluar terpisah, dasar caren miring ke arah saluran pengeluaran, luasan petakan sawah minimal 500 m², pematang harus kuat untuk menahan air minimal 30 cm dari pelataran sawah dengan lebar minimal 50 cm, lebar caren minimum 1,5 m dengan kedalaman dari pelataran minimum 0,5 m, ukuran kobakan minimum 1,5 m x 1,5 m x 0,5 m.

Jenis ikan yang dibudidayakan harus memenuhi kriteria benih bermutu dan mempunyai nilai ekonomis. Beberapa jenis komoditas yang dapat dikembangkan dalam minapadi seperti ikan mas, nila,

dan lele. Benih ikan mas kelas benih sebar tersebut memiliki ciri-ciri yaitu bentuk tubuh tebal, gemuk dan kepala tidak besar, bentuk mata bulat, dengan tingkah laku berenang bergerombol dan aktif menyongsong arus. Ikan nila merupakan ikan yang dapat memakan tumbuhan dan binatang, tetapi ikan nila lebih bersifat herbivora (Hossain *et al.*, 2021). Ikan nila terdapat beberapa varietas ikan nila unggul seperti varietas nirwana, jatimbulan, best, sultana, gesit, dan nila merah larasati. Ikan nila merupakan salah satu ikan yang banyak digunakan sebagai kultivan di dunia (Champneys *et al.*, 2018). Benih ikan nila yang digunakan kelas benih sebar yang memiliki ciri-ciri bentuk tubuh agak pipih, dengan tingkah laku bergerombol di permukaan air, aktif melawan arus air dan bereaksi positif terhadap cahaya dan kejutan. Untuk ikan lele (*Clarias* sp) merupakan ikan yang sudah lama berkembang di Indonesia dan digemari oleh segala lapisan masyarakat sebagai sumber protein. Ikan lele merupakan salah satu jenis ikan yang dapat hidup dalam kepadatan tinggi di lahan dan sumber air yang terbatas. Ikan lele bersifat nokturnal yaitu aktif bergerak mencari makan pada malam hari. Pada siang hari biasanya berdiam diri dan berlindung di tempat-tempat gelap. Ikan lele dilengkapi pernafasan tambahan berupa modifikasi dari busur insangnya dan bernafas dengan bantuan labirin yang berbentuk seperti bunga karang di bawah badannya, fungsinya sebagai penyerap oksigen yang berasal dari udara sekitarnya. Maka dalam keadaan tertentu ikan lele dapat beberapa jam berdiam dipermukaan tanah yang lembab dan sedikit kadar oksigennya (Sukoco, Setya, dan Manan 2016).

Jenis padi yang digunakan merupakan jenis padi varietas unggul seperti contoh varietas Inpari 14 Pakuan, Inpari 15 Parahyangan, dan Inpari 16 Pasundan. Varietas Inpari 14 Pakuan termasuk kelompok umur genjah (sekitar 113 hari, setelah sebar), serta memiliki tinggi tanaman sekitar 103 cm. Tekstur nasi dari varietas ini termasuk kategori pulen dengan kadar amilosa 22,5% dengan mutu beras dan mutu nasi sangat baik. Varietas ini tidak direkomendasikan ditanam di daerah endemik wereng dan endemik tungro, karena masih rentan terhadap hama wereng dan tungro. Varietas ini agak tahan terhadap penyakit hawar dan blas daun. Varietas Inpari 15 Parahyangan termasuk kelompok umur genjah (sekitar 117 hari setelah sebar), serta memiliki bentuk bentuk tanaman tegak dengan tinggi tanaman sekitar 105 cm. Tekstur nasi dari varietas ini termasuk kategori pulen dengan kadar amilosa 20,7% dengan mutu beras dan mutu nasi dan rasa nasi sangat baik. Varietas ini memiliki sifat seperti varietas Inpari 14 Prahyanan yaitu tidak direkomendasikan ditanam di daerah endemik wereng dan tungro, tetapi Varietas ini agak tahan terhadap penyakit hawar dan blas daun. Varietas Inpari 16 Pasundan termasuk kelompok umur genjah (sekitar 118 hari setelah sebar), serta memiliki bentuk tanaman tegak dengan tinggi tanaman sekitar 102 cm. Tekstur nasi dari varietas ini termasuk kategori pulen dengan kadar amilosa 22,7% dengan mutu beras, mutu nasi serta rasa nasi sangat baik. Varietas ini memiliki sifat seperti varietas Inpari 14 Prahyanan dan Inpari 15 Prahyanan yaitu tidak direkomendasikan ditanam di daerah endemik wereng dan tungro, tetapi Varietas ini agak tahan terhadap penyakit hawar dan blas daun. Pemilihan kultivan tidak dapat disamakan tiap daerah. Kebutuhan pasar menjadi salah satu pertimbangan pemilihan kultivan (Champneys *et al.*, 2018).

Model tanam padi yang digunakan untuk metode minapadi antara lain model jajar legowo, model tegel tegel yang dilengkapi caren dan model kolam dalam. Model jajar legowo memiliki pola tanam padi dengan perbandingan 2:1, 4:1 dan 6:1. Ini memiliki arti setiap dua, empat dan enam baris padi yang ditanam di petakan sawah, diberikan satu baris kosong (tanpa benih padi). Hal ini dilakukan bertujuan selain sebagai ruang untuk pemeliharaan ikan, dan memberikan ruang untuk sinar matahari mengenai petakan sawah. Hal ini dapat meningkatkan produksi padi sebesar 12–22% dan memberikan ruang yang luas untuk pemeliharaan ikan. Model tegel yang dilengkapi caren memiliki persamaan dengan model jajar legowo. Perbedaan model ini terletak pada jarak padi 20 cm, sehingga untuk minapadi harus dilengkapi dengan caren/parit. Berbagai macam letak caren/parit pada petakan sawah yaitu caren/parit keliling, tengah, diagonal dan ada juga yang dilengkapi dengan petak pengungsian. Caren/parit berfungsi untuk melindungi ikan dari kekeringan pada saat terjadi kebocoran, memudahkan panen ikan, tempat memberi makan ikan dan untuk memudahkan ikan bergerak ke seluruh petakan. Minapadi Kolam Dalam (Minakodal). Model kolam dalam adalah model tanam padi jajar legowo atau tegel yang dilengkapi parit/caren dalam dengan ukuran caren lebar minimal 1 meter dan kedalaman 0,8 - 1 meter. Dengan menggunakan model kolam dalam, panen padi dapat meningkat hingga 15 % per satuan luas petakan sawah.

Hal penting yang perlu diperhatikan dalam metode minapadi adalah pengelolaan kualitas air. Untuk produksi ikan konsumsi dengan sistem minapadi harus selalu diperhatikan parameter kualitas air yang diukur sesuai kebutuhan dan dipantau minimal 10 hari sekali. Pengamatan pematang sawah juga harus dilakukan untuk menghindari adanya kebocoran pada petakan lahan sawah. Kisaran parameter kualitas air budidaya untuk minapadi antara lain suhu 25-31 derajat celsius, keasaman (pH) 5-8, Oksigen terlarut (DO) >3 mg/liter, amoniak total maksimal 1 mg/liter.

Hal lain yang perlu dipantau adalah pemberian pakan. Pakan merupakan komponen biaya terbesar selama pemeliharaan ikan yaitu berkisar antara 80-85 %. Kebutuhan pakan yang berkualitas sangat berpengaruh bagi pertumbuhan ikan. Pemberian pakan disebarkan secara perlahan untuk memberikan waktu bagi ikan untuk mencerna pakan. Jumlah pakan yang diberikan maksimal 3% dari total biomassa ikan. Penentuan jumlah pakan dilakukan dengan cara sampling yaitu mengambil beberapa ekor ikan dan menimbang bobotnya, sehingga dapat diduga bobot total (biomass).

Hal terakhir yang dilakukan adalah proses panen. Ikan dapat dipanen dalam waktu pemeliharaan 90-100 hari atau lebih sesuai ukuran yang dibutuhkan oleh konsumen. Teknik pemanenan dapat dilakukan dengan cara mengeringkan sawah baik sebagian atau seluruhnya. Pada waktu pemanenan perlu proses pemberian air segar kedalam petakan sawah untuk menjaga jumlah oksigen dalam air. Pemanenan sebaiknya dilakukan pada pagi atau sore hari dengan cara menggiring ikan menuju kobakan dan selanjutnya dapat ditangkap.

B. Teknologi Ramah Lingkungan

Lingkungan memiliki pengertian yang berbeda-beda (Kearney, 2006). Pengertian lingkungan tidak akan terlepas dari organisme yang ada (Lewontin, 2000). Kearney (2006) mendefinisikan lingkungan adalah fenomena biotik dan abiotik yang berinteraksi dengan organisme yang ada. Hal ini seperti yang terdapat pada (SEKERTARIS NEGARA RI, 2009) yang menyatakan lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.

Perkembangan teknologi akan selalu terjadi. Teknologi adalah semua hal yang diciptakan secara sengaja oleh manusia melalui akal serta pengetahuannya untuk memberikan kemudahan dalam kehidupan sehari-hari (Porter, 1985). Teknologi ramah lingkungan diartikan sebagai teknologi yang diciptakan untuk mempermudah kehidupan manusia namun tidak mengakibatkan kerusakan atau memberikan dampak negatif pada lingkungan disekelilingnya (Budiarto dan Purwanto, 2016). (Adibroto, 2002) menyebutkan bahwa hal merupakan upaya perubahan pendekatan teknologi agar menjadi teknologi ramah lingkungan dalam produksi barang dan jasa pada suatu kegiatan pembangunan sehingga menjadi: teknologi berlimbah rendah dan nir limbah, upaya pengurangan limbah dalam proses industri, pencegahan pencemaran industri.

Adapun ciri-ciri teknologi ramah lingkungan yaitu menggunakan prinsip *Recycle, Recovery, Reduce, Reuse, Refine, dan Retrieve Energy* (Hasyim *et al.*, 2015). *Refine* berarti memakai bahan yang ramah lingkungan dan lewat proses yang lebih aman dari teknologi sebelumnya. *Reduce* adalah mengurangi jumlah limbah dengan cara memaksimalkan pemakaian bahan. *Reuse* yaitu menggunakan kembali beberapa bahan yang tidak terpakai atau telah berbentuk limbah serta diolah dengan cara yang berbeda. *Recycle* ialah memakai kembali bahan-bahan atau limbah dengan sistem yang sama. *Recovery* artinya pemakaian material khusus dari limbah untuk diolah untuk keperluan yang lain. *Retrieve Energy* yaitu penghematan daya dalam satu sistem produksi.

C. Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan

Hal lain yang perlu diperhatikan agar teknologi tidak menimbulkan kerusakan pada lingkungan adalah perlu diperhatikan daya dukung dan daya tampung teknologi tersebut diterapkan. Tingginya tekanan akibat tidak terpenuhinya daya dukung dan daya tampung adalah kerusakan lingkungan, karena lingkungan dan sumberdaya alam mempunyai kemampuan terbatas dalam mendukung kehidupan dengan segala aktivitasnya (Muta'ali, 1993). Daya dukung berkaitan dengan ketersediaan (suplai) dan kebutuhan (demand) yang berimbang. Umumnya suplai memiliki keterbatasan, sedangkan demand tidak memiliki terbatas (Muta'ali, 2015). Sejalan dengan X. Wu dan Hu, (2020) daya dukung digunakan untuk mencerminkan hubungan antara kegiatan ekonomi dan sosial manusia dan lingkungan alam, yang ditentukan berdasarkan hubungan antara objek pendukung. Daya dukung lingkungan berkaitan dengan kepadatan penduduk serta kebutuhan air. Data penduduk diperlukan untuk diolah menghasilkan

distribusi penduduk tiap luasan area, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan daya dukung tiap area.

Perhitungan distribusi penduduk menggunakan metode sistem grid yang merupakan struktur dua dimensi, dibentuk oleh persimpangan garis horizontal dan vertikal, yang merupakan bagian dari suatu area, sehingga dapat digunakan untuk mengolah data spasial terkait lingkungan (Kuscahyadi *et al.*, 2018). Metode ini mampu menggambarkan fenomena dengan pola yang beragam dengan memanfaatkan informasi yang mengacu pada berbagai skala (Norvyani *et al.*, 2018). Sistem grid multi-skala yang diterapkan mengacu pada Sistem Referensi Geospasial Nasional 2013 dan sistem koordinat geodetik. Grid berfungsi sebagai pengenal setiap sel pada sistem grid multi-skala setiap grid memiliki ukuran (0.150 × 0.150 km) pada pengolahan data ini dan dasar waktu yang diterapkan adalah tahun 2019.

D. Kualitas Air

Kualitas air mempunyai peranan penting, karena menggambarkan kesesuaian atau kecocokan air untuk penggunaan tertentu, misalnya air minum, perikanan, irigasi, industri, rekreasi dan lainnya (Kospa dan Rahmadi, 2019). Kualitas air merupakan pedoman untuk mencapai tujuan pengelolaan air sesuai dengan peruntukannya yang diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu. Untuk menentukan kualitas air digunakan tiga indikator yaitu oksigen terlarut, BOD (proses biologis yang membutuhkan oksigen), dan jumlah bakteri *coli* (*Coliform*) (Yudo, 2007; Pratiwi, Widyorini dan Rahman, 2019). (Makmur *et al.*, 2012) pada kajiannya mengungkapkan bahwa konsentrasi rata-rata BOD atau kebutuhan oksigen biologi merupakan salah satu indikator tingginya kandungan bahan organik diperairan. Pengukuran kualitas air di lapangan dalam *Japan Environmental Management Association for Industry* (JEMAI) dapat menggambarkan (Masui *et al.*, 2001):

- (1) Air limbah industri sudah memenuhi kriteria kualitas air (baku mutu) limbah.
- (2) Peralatan penanganan limbah sesuai dengan prosedur.
- (3) Pada pembuangan, sudah melakukan pengenceran, dialirkan ke perairan umum.
- (4) Kualitas air dari perairan umum sudah memenuhi standar untuk digunakan.

Menurut (Bartram dan Ballance, 1996) tujuan pemantauan kualitas air pada perairan yaitu mengetahui nilai kualitas air dalam bentuk parameter fisika, kimia, dan biologi, membandingkan nilai kualitas air tersebut dengan baku mutu yang sesuai dengan peruntukannya, menilai kelayakan dari sumber air tersebut untuk kepentingan tertentu.

Kualitas air merupakan indikator untuk lingkungan perairan yang mempunyai parameter sangat banyak, sehingga variasinya sangat beragam dapat menyulitkan untuk menginterpretasikan hasil. Peran penting kualitas air dalam monitoring dan mengestimasi di dalam peruntukan kualitas air sungai memberikan pengertian bahwa tahapan pada tingkat pencemaran air mempunyai batasan serta dampak yang dihasilkan dari suatu kegiatan (Ma'in *et al.*, 2013). *Oregon Water Quality Index* (OWQI) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan kualitas air (Abbasi dan Abbasi, 2012). Indikator

tersebut digunakan untuk mengukur perubahan kualitas air per waktu karena dianggap mudah dipahami, semakin bagus nilai indikator air yang diukur cocok untuk rekreasi dan memancing ikan (Cude, 2001). Pengukuran kualitas air sistem integrated fish farm berdasarkan OWQI serta SI memperlihatkan pengaruh yang moderat terhadap kualitas air (Siregar *et al.*, 2021).

Fisik

Suhu

Suhu dipengaruhi musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, biologi, dan berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan, selain itu dalam konsumsi oksigen pada hewan juga akan terjadi peningkatan (Rahman *et al.*, 2019). Apabila suhu air naik, menyebabkan menurunnya jumlah oksigen terlarut dalam air, meningkatnya kecepatan dalam reaksi kimia, mengganggu kehidupan ikan serta hewan lainnya, apabila batas suhu mematikan terlampaui, kemungkinan ikan, hewan air lainnya akan mati (Handayani *et al.*, 2012).

Kecerahan

Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan, sangat tergantung pada warna dan kekeruhan. Kekeruhan melambangkan sifat air berdasarkan banyaknya sinar diserap dan dipantulkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air. Terjadinya peningkatan kekeruhan menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya, sehingga menurunkan fotosintesis oleh fitoplankton, ganggang serta tumbuhan air. Sehingga oksigen menjadi rendah, sewaktu organisme membutuhkan oksigen untuk respirasi di malam hari (Boyd dan Tucker 1998). Terjadinya proses eutrofikasi secara alamiah, detritus, tanaman, garam-garaman, serta pasir masuk dalam aliran air kemudian disimpan pada badan air. Menyebabkan terjadinya pengkayaan unsur hara, sedimentasi, pengisian, serta terjadinya peningkatan biomassa. Seperti terjadi di Teluk Jakarta tergolong dalam perairan yang kaya akan zat hara (eutropik) menimbulkan populasi alga berbahaya (*HABs*) (Nastiiti dan Hartati, 2013; Putri, Hartati dan Satria, 2017). Kecerahan perairan tergantung pada tingkat kesuburan, volume pencemaran serta faktor yang berkaitan dengan pemanfaatan perairan tersebut. Kekeruhan dengan tingkat yang tinggi menyebabkan terganggunya osmoregulasi, serta dapat menghalangi penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air, hal ini berhubungan dengan aktifitas fotosintesis dari alga dan mikrofit. Kekeruhan juga diakibatkan adanya partikel tersuspensi dalam air, berakibat berkurangnya kemampuan organisme air lainnya untuk mendapatkan makanan, dengan berkurangnya fotosintesis, mengakibatkan pakan ikan tertutup oleh lumpur, insang ikan dan kerang tertutup oleh sedimen sehingga mengakumulasi bahan beracun (Yulaipi dan Aunurohim 2013).

Padatan terlarut total (Total Dissolved Solid/TDS)

Berdasarkan mutu air kelas 1 entasi TDS maksimum yang ditentukan adalah 1000 mg/l. TDS menggambarkan jumlah kepekatan padatan dalam air, dengan ukuran lebih kecil (Salim dan Dharmawan, 2017). TDS diakibatkan oleh bahan organik yang ada di perairan, dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan tanah, pengaruh antropogenik berupa limbah domestik/industri, tidak berbahaya, tetapi bila berlebihan akan meningkatkan kekeruhan menghambat penetrasi sinar ke kolom air, dan berpengaruh terjadinya fotosintesis (Suniada dan Indriawan, 2014).

Padatan tersuspensi (Total Suspended Solid/TSS)

Padatan tersuspensi merupakan penyebab kekeruhan, di dalam air. Warna air dalam sungai, kolam, atau danau tidak selalu tetap hal ini karena banyak partikel tersuspensi yang terbawa masuk. Kejernihan air yang rendah menunjukkan suatu produktivitas yang tinggi, karena sifat dari kejernihan ada hubungannya dengan produktivitas. Misalnya jika konsentrasi bahan tersuspensi tinggi, maka sinar matahari tidak dapat menembus masuk ke dalam air secara sempurna (Haeruddin dan Muskanafola 2015). Padatan tersuspensi terlarut total dalam air mempunyai kegunaan sebagai:

- (1) Penentuan produktivitas dimana kemampuan untuk mendukung kehidupan. Misalnya fosfat dan nitrat, maka air memiliki produktivitas untuk kehidupan tanaman (eutrofik), kebalikannya air yang produktivitasnya rendah disebut oligotropik,
- (2) Menetapkan air pada berbagai periode di berbagai lokasi. Bila terjadi penyimpangan di mungkin ada pembuangan sampah/limbah yang tidak diolah. Terjadinya kenaikan di sebabkan adanya erosi tanah akibat hujan lebat/pembakaran sampah.

Mikroplastik

Plastik menjadi masalah bagi kehidupan makhluk hidup (Islami dan Siregar, 2020). Kontaminasi plastik dapat terjadi pada perairan, sehingga mengganggu kehidupan makhluk yang berada di air. Plastik dapat masuk pada tubuh ikan secara tidak sengaja karena ukurannya berubah menjadi mikroplastik (Schymanski *et al.*, 2018). Mikroplastik yang berada di air berukuran sekitar 1-5 mm (besar) dan kurang dari 1 mm (kecil) (Storck, 2015). Keberadaan mikroplastik dalam berbagai macam kelompok bervariasi dalam hal ukuran, bentuk, warna, komposisi, massa jenis, dan sifat-sifat lainnya.

Kimia

Kebutuhan oksigen kimiawi (COD/Chemical Oxygen Demand)

Kebutuhan oksigen kimiawi menggambarkan total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologi atau yang sukar untuk didegradasi (*non biodegradable*) sehingga mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air

Derajat keasaman (pH) air

pH menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air. pH normal untuk kehidupan berkisar 6,6-7,5. Air dengan pH lebih kecil dari pH normal akan bersifat asam, air dengan pH lebih besar dari pH normal akan bersifat basa (Soewandita dan Sudiana 2010). Nilai pH sangat dipengaruhi oleh kadar CO₂ di siang hari karena terjadi fotosintesa hingga konsentrasi CO₂ menjadi turun dan pH air menjadi meningkat. Malam hari organisme perairan melepaskan CO₂ hasil dari respirasi dan pH air menjadi turun (Ma'in *et al.*, 2013). Musim penghujan pH cenderung lebih tinggi karena akumulasi senyawa karbonat, bikarbonat menyebabkan pH menjadi basa (Herlambang, 2016). Nilai pH memiliki beberapa pengaruh terhadap biota pada lingkungan, nilai pH antara 6 sampai 6,5 memiliki pengaruh keanekaragaman plankton dan bentos sedikit menurun, kelimpahan total, biomassa, dan produktivitas tidak mengalami perubahan, nilai antara 5,5 sampai 6 memiliki pengaruh penurunan nilai keanekaragaman plankton dan bentos semakin tampak, kelimpahan total, biomassa, dan produktivitas belum mengalami perubahan berarti, serta algae hijau berfilamen mulai tampak pada zona litoral, nilai pH 5 sampai dengan 5,5 memiliki pengaruh penurunan keanekaragaman, komposisi jenis plankton perifiton, bentos makin besar, terjadi penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos, dan algae hijau berfilamen semakin banyak serta proses nitrifikasi terhambat, nilai pH antara 4,5 sampai 5 memiliki pengaruh penurunan keanekaragaman, komposisi jenis plankton perifiton, bentos semakin besar, algae hijau berfilamen semakin banyak serta proses nitrifikasi terhambat dan penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos (Boyd dan Tucker, 1998).

Oksigen terlarut (DO/Dissolved Oxygen)

Nilai oksigen terlarut menunjukkan tingkat pencemaran, sehingga untuk dekomposisi senyawa organik menjadi senyawa anorganik. Keadaan oksigen terlarut dalam air menunjukkan tanda – tanda kehidupan ikan serta biota dalam perairan. Hal ini berarti kadar oksigen terlarut dapat dijadikan ukuran menentukan mutu air. Kehidupan dalam air bisa bertahan jika kadar oksigen terlarut minimum sebanyak 5 ppm. Ada perbedaan dalam penentuan oksigen antara di dekat sumber pencemaran dengan jarak lokasi yang jauh, ini dipengaruhi suhu, kehadiran tanaman fotosintesis, tingkat penetrasi cahaya tergantung dari kedalaman dan kekeruhan air dan jumlah bahan organik yang diuraikan dalam air. Perairan tercemar bila kandungan DO menurun sampai di bawah batas yang diperlukan untuk kehidupan biota.

Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD/Biochemical Oxygen Demand)

Kebutuhan oksigen biokimiawi menggambarkan keberadaan bahan organik di perairan. Secara biologis, jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecahkan bahan organik menjadi karbondioksida dan air. Nilai angka BOD semakin tinggi, semakin sulit bagi makhluk air untuk membutuhkan oksigen guna bertahan hidup. Bertambah besarnya nilai BOD perairan menunjukkan pengotoran air limbah semakin besar. Dua faktor terjadinya penurunan BOD

yakni sedimentasi dan deoksigenasi efektif dari bahan air sungai atau limbah. Standar baku yang diperkenankan untuk penggunaan air permukaan 3-5 mg/l. Suhu, oksigen, adanya plankton dan mikroba, juga kandungan bahan organik sangat mempengaruhi BOD, dimana air dengan konsentrasi BOD yang tinggi tidak mampu untuk menambah kadar oksigen, sehingga tidak dapat mendukung kehidupan organisme dalam perairan. Oksigen merupakan faktor pembatas dalam kehidupan makhluk hidup dalam air. Di dasar danau yang dalam, oksigen dipakai oleh mahluk pembusuk yang memakan ganggang mati/sampah. Cahaya yang masuk biasanya sedikit sehingga tidak terjadi fotosintesis, dan penggantian oksigen dari udara akan berjalan sangat lambat sehingga oksigen menjadi faktor pembatas kehidupan. Kecenderungan oksigen terlarut selalu rendah, organisme anaerob akan mati, menguraikan bahan organik, menghasilkan metana, hidrogen sulfida menyebabkan air menjadi bau.

Besi (Fe)

Besi merupakan unsur esensial bagi mahluk hidup. Besi sangat berperan sebagai penyusun sitokrom (hemoprotein yang berfungsi sebagai pengusung electron) dan klorofil. Besi hanya akan ditemukan pada perairan yang bersifat aerob, akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Artinya, di perairan, konsentrasi besi yang tinggi akan berkorelasi dengan kadar bahan organik yang tinggi. Atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air yang berasal dari air tanah dalam dengan suasana anaerob atau lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen.

Konsentrasi besi yang berlebihan dapat menghambat fiksasi unsur lainnya. Pada tumbuhan, besi berperan sebagai enzim dan transfer electron pada proses fotosintesis. Kadar besi pada perairan alami berkisar antara 0,05-0,2 mg/l (Boyd dan Tucker, 1998). Kadar besi > 1,0 mg/l dianggap membahayakan kehidupan organism akuatik. Kelarutan besi akan mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya pH.

Fosfat

Fosfor merupakan elemen penting dalam aktivitas biologi. Fosfor juga merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan algae, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan algae akuatik serta sangat mempengaruhi produktivitas perairan (Ferreira *et al.*, 2011). Air tanah tidak akan mengandung banyaf fosfor, kecuali melewati tanah sebagai fosfat atau terkontaminasi polusi oleh bahan organik (Bartram dan Ballance, 1996). Secara umum kandungan fosfat meningkat terhadap kedalaman. Kandungan fosfat yang rendah dijumpai di permukaan dan kandungan fosfat yang lebih tinggi dijumpai pada perairan yang lebih dalam, hal ini karena di lapisan dasar perairan terjadi proses dekomposisi oleh organisme. Kadar fosfor dalam ortofosfat (P-PO₄) pada perairan jarang melebihi 0,1 mg/L, meskipun pada perairan eutrofik (Bartram dan Ballance, 1996).

Ammonia (NH₃)

Sumber ammonia di perairan adalah pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik di dalam tanah dan air, yang bersumber dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba dan jamur. Toksisitas ammonia terhadap organism akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu. Kadar ammonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemar bahan organik yang bersumber dari limbah domestik, dan limpasan pupuk pertanian. Kadar ammonia pada perairan alami biasanya < 0,1 mg/l. Sedangkan ammonia bebas yang tidak terionisasi pada perairan tawar sebaiknya tidak lebih dari 0,02 mg/l, perairan ini akan bersifat toksik bagi beberap jenis ikan.

Ammonia merupakan parameter penting setelah oksigen, bisa menyebabkan stress dan kerusakan insang serta jaringan lain bahkan dalam jumlah kecil sekalipun. Dalam konsentrasi tinggi mengakibatkan kematian pada mikroorganisme perairan. Dalam jumlah kecil ammonia tidak berbau dan tidak berwarna. Dalam air ammonia terjadi menjadi dua bentuk, total ammonia nitrogen (TAN) kedua bentuk direpresentasikan sebagai $\text{NH}_3^=$ dan $\text{NH}_3 \text{NH}_4^=$.

Nitrat (NO₃-)

Nitrogen merupakan unsur penting dalam kehidupan karena berfungsi sebagai pembentukan jaringan, sintesa enzim, sintesa komponen klorofil sehingga aktivitas fotosintesis dan respirasi tidak dapat berlangsung tanpa tersedianya nitrogen yang cukup. Sumber utama nitrat di perairan biasanya berasal dari proses dekomposisi bahan organik yang dapat menghasilkan nitrogen. Nitrat (NO₃-) adalah nutrien utama bagi pertumbuhan fitoplankton dan algae. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil yang dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Konsentrasi nitrat di suatu perairan diatur dalam proses nitrifikasi. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia yang berlangsung dalam kondisi aerob menjadi nitrit dan nitrat. Perairan yang kekurangan nitrat maka produksi pakan alami, terutama yang mengandung klorofil akan terhambat.

Nitrit (NO₂-)

Nitrogen organik dapat diuraikan menjadi ammonia, lalu teroksidasi menjadi nitrat dan nitrit (APHA, 1999). Proses oksidasi terjadi pada siklus nitrogen yang dibantu oleh mikroba di tanah atau air. Sumber – sumber nitrit adalah dari air buangan industri maupun air buangan domestik, dan pertanian. Nitrat dan nitrit sangat mudah bercampur dengan air dan terdapat bebas didalam lingkungan (Pratiwi *et al.*, 2019). Seperti juga nitrat maupun ammonia, nitrit memiliki sifat karsinogen bagi makhluk hidup seperti hewan dan manusia. Nilai nitrit dianggap aman bila tidak lebih dari 0,09 mg/l (Ferreira *et al.*, 2011). Nitrit pada air dapat dideteksi menggunakan spektrofotometer. Pada pH 2.0 sampai 2.5 nitrit bereaksi dengan diazo asam sulfanilik (sulfanilamid) dan N-(1-naftil) etilendiamin dihidroklorida atau Naftilamin, dan akan terbentuk senyawa berwarna ungu atau merah atau ungu kemerah – merahan sehingga dapat dideteksi.

Biologi

Plankton

Kualitas air sangat berpengaruh terhadap kehidupan plankton, hubungan ini disebabkan adanya faktor fisika, kimia perairan karena adanya pencemaran. Dalam kondisi ini mahluk hidup memperlihatkan ciri khas berhubungan metabolik, fisiologis dan lainnya. Perubahan ini biasanya tidak ada pengaruh bila mahluk hidup tersebut cukup rendah, akan tetapi apabila perubahannya cukup tinggi populasi tersebut akan teramati. Perubahan terhadap pencemaran tersebut berakibat ke lingkungan karena adanya hubungan pada sumber pencemar yang dirangkaikan dalam urutan fisika, kimia dan perubahan biologis. Pengaruh pencemar sangat erat kaitannya dengan limbah yang berlebihan, deoksigenasi (pengurangan oksigen terlarut) dan pengaruh fisiologis toksis terhadap mahluk hidup (Jorgensen, 2016). Unsur kimia dan jenis logam yang sering terdeteksi melalui indikator biologi sebagai pencemar lingkungan perairan seperti phytoplankton sebagai indikator biologis unsur kimia Fe, Co, Ni, Plutonium, Cesium, Ytrium, Tritium, zooplankton sebagai indikator biologis unsur kimia Mn, Strontium, Fe, Ni, Kobalt, Zirkonium, Mollusca sebagai indikator biologis unsur kimia Seng, Ni, Tembaga, Cd, Kromium, Mangan, Kobalt dan *crustacea* sebagai indikator biologis unsur kimia Strontium, Kobalt, Seng, Mangan (Mokoagouw, 2008).

Dalam melakukan analisa kuantitatif (menentukan spesies individu penyusun komunitas mikro-algae, dan menggolongkannya dalam kelas dari algae). Analisa kualitatif mengetahui komposisi jenis-jenis individu penyusun struktur komunitas fitoplankton di perairan tersebut (Umar *et al.*, 2004). Amri *et al.*, (2018) menjelaskan bahwa ada keterkaitan antara parameter fisika, kimia terhadap fitoplankton di perairan Bengkalis dengan ditemukannya dengan kelimpahan fitoplankton tinggi yang terdiri dari 32-52 genera. Hal serupa, dilakukan juga oleh Kawuri *et al.*, (2012) bahwa kondisi sungai Seketek dalam kondisi tercemar sedang, hingga berat sampai berat.

Mikroalga berklorofil dapat berfotosintesis dan berpotensi menghasilkan oksigen. Tujuannya meningkatkan jumlah kadar oksigen dalam air yang diperlukan oleh mahluk hidup. Pengambilan fitoplankton saat terjadinya hujan sangat berpengaruh hal ini dikarenakan sungai mengalami arus yang deras (Fachrul, Ediyono dan Wulandari, 2008). Prasetyaningtyas *et al.*, (2012) mengutarakan perairan yang tenang merupakan habitat yang cocok bagi habitat plankton sehingga plankton mampu untuk bertahan hidup pada perairan.

Bersifat mikroskopis, misalnya *Daphnia* (kutu air) dan *Navicula*. Sebagian besar dari plankton bergerak, namun gerakannya hanya untuk mengontrol gerakan secara vertikal (menghindar dari pemangsa). Peranan plankton dalam perairan sebagai produsen (penyedia energi) primer (*fitoplankton*/plankton nabati) dan konsumen primer (*zooplankton*/plankton hewani). Lebih dari 90% fitoplankton disusun oleh algae. Fitoplankton algae masuk dalam organisme *autotrof*, yaitu dengan bantuan energi sinar dan klorofil, yang menyerap karbon dioksida serta senyawa nutrient anorganik yang mampu mensintesa senyawa organik yang kompleks melalui fotosintesis.

Hasil penelitian oleh Rahmawati *et al.*, (2014) nutrisi dari pengamatan 5 stasiun memberikan pengaruh yang rendah terhadap kelimpahan fitoplankton, nutrisi (nitrat dan fosfat) dibutuhkan fitoplankton untuk pertumbuhan fitoplankton karena nitrat dan fosfat dikenal sebagai salah satu faktor pembatas dari keberadaan fitoplankton di perairan. Plankton dikelompokkan menjadi plankton laut dan air tawar, Kategori ukuran dapat dibagi menjadi tiga yaitu zooplankton atau yang dikenal dengan mikrozooplankton (berukuran sebesar plankton yang dapat melewati plankton net dengan mata 202 μm), mesozooplankton (berukuran sebesar plankton yang tidak dapat melewati/terjaring plankton net dengan mata 202 μm), dan makrozooplankton (berukuran sebesar plankton yang dapat melewati plankton net dengan mata 505 μm) (Puryono *et al.*, 2019).

Mikro-algae (fitoplankton) merupakan penyumbang rantai makanan langsung/ tidak langsung bagi hewan yang ada di air dan perairan, dan penyumbang oksigen paling besar. Selain sebagai pakan alami hasil samping proses fotosintesis fitoplankton adalah oksigen (O_2) berfungsi untuk bernafas oleh hewan tersebut. Produktivitas primer dan kepadatan yang terjadi pada fitoplankton dari hasil penelitian Hallare *et al.*, (2011) menjelaskan bahwa dampak langsung tumpahan minyak berpengaruh terhadap komunitas fitoplankton, ini membuktikan ada kesesuaian dalam penggunaan fitoplankton sebagai bioindikator stress lingkungan, keberadaannya sebagai pemelihara kestabilan ekosistem akuatik. Perubahan kualitas lingkungan dilihat dari perubahan struktur komunitas fitoplankton di perairan (Wijaya dan Hariyati, 2011). Fitoplankton dipakai sebagai indikator perairan tercemar atau tidak tercemar. Saunders *et al.*, (2007) menyatakan sungai yang mengalami pencemaran sangat berat umumnya terkait dengan pencemaran organik dan eutrofikasi, sedangkan pencemaran tingkat rendah mengandung polusi rendah dengan komunitas makrofitanya relative lebih rendah. Terdapat beberapa alasan penggunaan indikator biologis yaitu dapat memantau secara kontinyu, karena seluruh hidupnya di perairan, bila terjadi pencemaran bersifat penimbunan pada biota tersebut. Petunjuk mudah memantau terjadinya pencemaran. Bila terjadi pencemaran maka keanekaragaman spesies akan menurun.

Berbagai indeks biologi dapat diterapkan, serta kelompok spesies tertentu yang menggambarkan ciri khas perairan yang dihuninya. Tes biota plankton tidak memerlukan peralatan rumit, waktunya singkat, karena masa hidup plankton lebih cepat, dari beberapa jam sampai beberapa hari.

Saprobitas

Wilhm dan Dorris, (1968) mengemukakan bahwa organisme tertentu mempunyai hubungan terhadap air bersih/air yang tercemar. Menurut Persoone dan De Pauw (1979) kondisi pencemaran perairan menjadi 4 bagian diantaranya:

- Organisme di perairan ringan (*Oligosaprobic*): Saturasi oksigen sangat umum terjadi pada perairan oligosaprobik. Pembentukan organik dan anorganik akan terjadi stabil.
- Organisme di perairan tercemar moderat (*β -mesosaprobic*): Kondisi aerobik sangat dibantu ketika aerasi fotosintesis. Oksigen jenuh akan terjadi selama proses eutropik ketika di

perairan. Transparansi air biasanya sedikit keruh, tidak ada bau, dan tidak berwarna. Perairan ditandai dengan vegetasi yang kaya, banyak makrozoobentos seperti *Mollusca*, *Insecta*, *Hirudinae*, *Entomostraca* dan ikan (*Cyprinidae*).

- Organisme di perairan tercemar agak berat (*α-mesosaprobic*): Pada zone ini akan ditemukan asam amino dan asam lemak. Adanya oksigen bebas maka akan menyebabkan terjadinya penurunan proses reduksi. Warna air mempunyai ciri abu-abu gelap dan bau busuk karena adanya H₂S dan fermentasi karbohidrat. Selain itu ditandai adanya jamur, campuran organisme yang didominasi oleh bakteri *Sphaerotilus natans*.
- Organisme di perairan yang tercemar berat (*Polysaprobic*): Proses dengan degradasi cepat, kondisi perairan didominasi anaerobik. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah ammonia, hidrogen sulfida dan karbon dioksida. Perairan yang dicirikan polysaprobik adalah berwarna abu-abu dan kotor dengan bau menyengat, serta sangat keruh hal ini dikarenakan banyaknya jumlah bakteri dan koloid.

Pada bawah aliran air berlumpur (Sludge hitam), bagian bawah berwarna hitam dengan lapisan besi sulfida (FeS). Faktor lainnya ditandai tidak adanya organisme *autotrophic* didominasi oleh bakteri, terutama bakteri yang sangat sesuai dengan adanya hidrogen sulfida. Organisme yang menempati perairan tersebut misalnya dari ganggang biru-hijau, *rhizopods*, *zooflagellates* dan *protozoa bersilia*. Lainnya seperti *Tubifex*, *Chironomus thummi*, dan kehadiran ikan biasanya tidak akan ditemukan pada zone ini. Saprobitas perairan merupakan kondisi kualitas air yang diakibatkan adanya penambahan bahan organik dalam suatu perairan, dengan indikator jumlah dan susunan spesies dari organisme di dalam perairan tersebut.

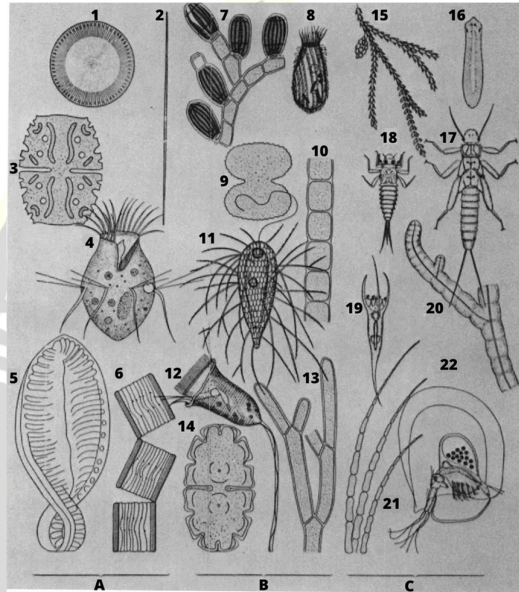
Saprobitas perairan diidentifikasi melalui analisa TROSAP (*Trophic Saprobic*). TROSAP merupakan gabungan dari kata *trophic* dan *Saprobic* (*Saprobity*). Arti *trophic* berasal dari kata *trophism* dengan makna bahwa derajat produktivitas primer sebagai hasil bioaktivasi organisme perairan. *Saprobic* dari kata *saprobity*, mencerminkan intensitas dekomposisi dari “*dead organic matter*” bersama bioakumulasi/biomagnifikasi jasad renik terhadap bahan pencemar. Pada tingkatan *saprobic* mencerminkan derajat pencemaran yang terjadi di dalam perairan dan ditandai oleh banyaknya jasad renik indikator pencemaran (Anggoro, 1988).

- *Trophic Saprobic Index* (TSI)

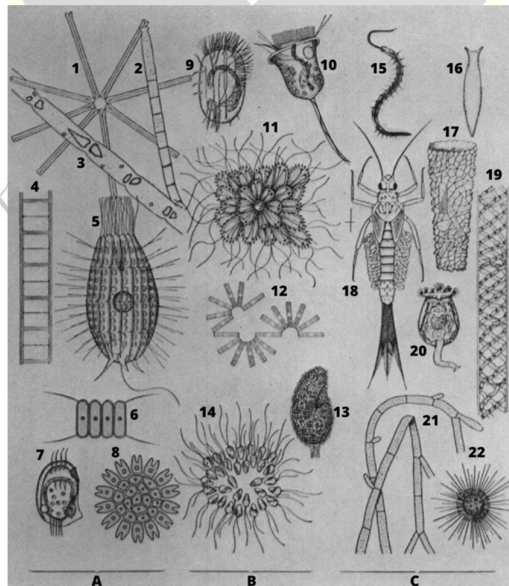
Trophic-Saprobic (TROSAP) adalah metode analisis struktur pada komunitas jasad renik dengan tujuan mengevaluasi kualitas air, terutama ditinjau dari derajat pencemaran serta tingkat kesuburan perairan. Sisi lain sebagai penilai kelayakan lokasi untuk budidaya biota laut. Metode TROSAP erat kaitannya dengan penilaian sifat-sifat kulturan, fisika-kimia air, bioteknis budidaya serta parameter penunjang lainnya (Anggoro, 1988). Pada

Liebmann (1962; dalam Persoone dan De Pauw, 1979) membagi organisme saprobitas menjadi empat kelompok yaitu: *Oligosaprobik*, *β-mesosaprobik*, *α-mesosaprobik* dan *Polisaprobik*. Penampakan tiap plankton terlihat pada gambar di bawah. Nomor dan huruf pada gambar dirangkum

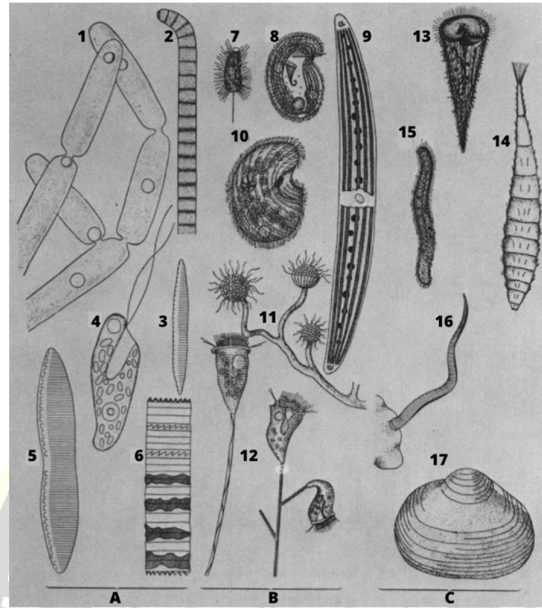
pada Tabel 2. (misalkan terlihat pada Gambar 4 bagian A no 1 pada Tabel 2 adalah *Cyclotella bodanica*). Pada Gambar 4 merupakan organisme saprobic penyusun saprobitas oligosaprobik yang diartikan memiliki polusi ringan dengan nilai indikator 1. Gambar 5. merupakan organisme saprobitas penyusun β -mesosaprobik dengan menunjukkan keadaan polusi sedang (nilai indikator 2). Penyusun organisme α -mesosaprobik terlihat pada Gambar 6. kelompok ini terpolusi cukup berat dengan nilai indikator 3. Gambar 7. merupakan organisme penyusun kelompok polisaprobik. Kelompok ini merupakan kelompok terpapar polusi berat dengan nilai indikator 4.



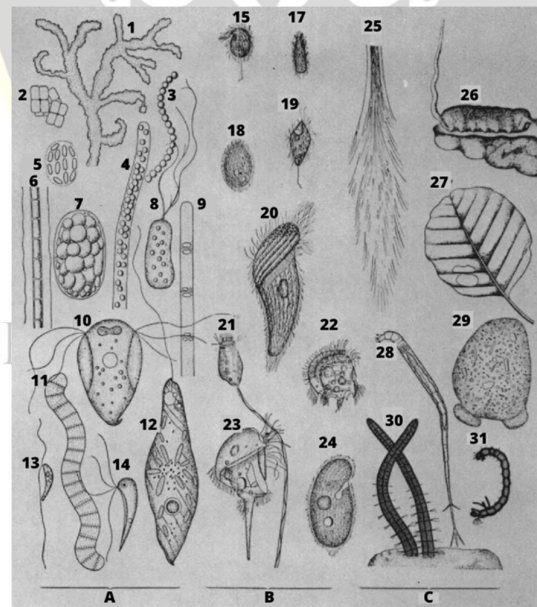
Gambar 4. Organisme Penyusun Saprobitas Oligosaprobik. (Liebman,1962; dalam Persoone dan De Pauw, 1979)



Gambar 5. Organisme penyusun saprobitas β -mesosaprobik.(Liebman,1962; dalam Persoone dan De Pauw, 1979)



Gambar 6. Organisme Penyusun Saprobitas α -mesosaprobik (Liebman,1962; dalam Persoone dan De Pauw, 1979)



Gambar 7. Organisme Penyusun Saprobitas Polisaprobik (Liebman,1962; dalam Persoone dan De Pauw, 1979)

Tabel 2. Penggolongan Anggota Saprofik

Kelompok saprobitas	Organisme Penyusun		
	A	B	C
<i>Oligosaprofik</i>	1. <i>Cyclotella bodanica</i> 2. <i>Synedra acus</i> var <i>angustisia</i> 3. <i>Micrasterias truncata</i> 4. <i>Halteria cirrifera</i> 5. <i>Surirella spiralis</i> 6. <i>Tabellaria flocculota</i>	7. <i>Bulbocchaete nirabilis</i> 8. <i>Strombidenopsis gyrans</i> 9. <i>Staurastrus punctulatum</i> 10. <i>Ulotrix zonata</i> 11. <i>Mallomonas caudata</i> 12. <i>Vorticella nobilifera</i> var <i>similis</i> 13. <i>Claudophora glomerata</i> 14. <i>Eustrum oblenrum</i>	15. <i>Fontinalis antipyretica</i> 16. <i>Planaria gonocephala</i> 17. Larva of <i>Oligoneuria</i> <i>rhenana</i> 18. Larva of <i>Perla</i> <i>bipunctata</i> 19. <i>Notholca longispina</i> 20. <i>Batrachospermum</i> <i>vagum</i> 21. <i>Lemanea annulata</i> 22. <i>Holopedium gibberum</i>
Organisme <i>β-mesosaprofik</i>	1. <i>Asterionella Formosa</i> 2. <i>Oscillatoria rubescens</i> 3. <i>Oscillatoria redekei</i> 4. <i>Melosira varians</i> 5. <i>Coleps hirtus</i> 6. <i>Scenedesmus</i> <i>quadricauda</i> 7. <i>Aspidisca lynceus</i> 8. <i>Pediastrum boryanum</i>	9. <i>Euplotes charon</i> 10. <i>Vorticella campanula</i> 11. <i>Synura uvella</i> 12. <i>Tabellaria fanestrata</i> 13. <i>Paramaecium bursaria</i> 14. <i>Uroglena volvox</i>	15. <i>Stylaria lacustris</i> 16. <i>Polycelis cornuta</i> 17. <i>Hydropsyche lepida</i> <i>(case of pupa)</i> 18. <i>Cloeon dipterum larva</i> 19. <i>Bronchionus urceus</i> 20. <i>Spirogra crassa</i> 21. <i>Cladophora crispata</i> 22. <i>Actinosphaerium</i> <i>eichhorni</i>
Organisme <i>α-mesosaprofik</i>	1. <i>Leptomus lacteus</i> 2. <i>Oscillaria Formosa</i> 3. <i>Nitzschia palea</i> 4. <i>Chilomonas</i> <i>paramaecium</i> 5. <i>Hanstschia amphioxys</i> 6. <i>Stephanodiscus</i> <i>hantzschii</i>	7. <i>Uronema marinum</i> 8. <i>Chilodonella uncinata</i> 9. <i>Closterium acerosum</i> 10. <i>Colpoda cucullus</i> 11. <i>Anthophysa vegetans</i> 12. <i>Vorticella convallaria</i>	13. <i>Stentor ocerulus</i> 14. <i>Stratiomys chamaelei</i> <i>larva</i> 15. <i>Spirostomum ambigum</i> 16. <i>Herbobbella atomaria</i> 17. <i>Sphaerium corneum</i>
Organisme <i>Polisaprofik</i>	1. <i>Zoogloea ramigera</i> 2. <i>Sarcina paludosa</i> 3. <i>Beggiota alba</i> 4. <i>Chlorobacterium</i> <i>agregatum</i> 5. <i>Streptococcus</i> <i>margariticus</i> 6. <i>Sphaerotilus natans</i> 7. <i>Achromatium axaliferum</i> 8. <i>Chromatium okeneii</i> 9. <i>Oscillatoria putidia</i> 10. <i>Trogonomenos compresa</i> 11. <i>Spirirullina jenneri</i> 12. <i>Euglena viridis</i> 13. <i>Bodo putrinus</i> 14. <i>Tetramitus pyriformis</i>	15. <i>Hexotrica caudate</i> 17. <i>Enchelys vermicularis</i> 18. <i>Glaucoma scintilans</i> 19. <i>Trimyema compresa</i> 20. <i>Metapus sp</i> 21. <i>Verticella microstoma</i> 22. <i>Saprodinium dentanum</i> 23. <i>Caenomorpha medusulla</i> 24. <i>Calpidium colpoda</i>	25. <i>Sphaerotilus natans</i> 26. Larva of <i>kristalis tanax</i> 27. <i>Lamprocytis</i> <i>roseopersicina</i> 28. <i>Rot aras neptunia</i> 29. <i>Pelomyxs polustris</i> 30. <i>Tubifex rivulorum</i> 31. <i>Chronomus tunnii</i>

- *Saprobic index*

Analisa *saprobic index* dapat dilakukan dengan menghitung tingkat dominasi dari golongan plankton pada perairan Persoone dan De Pauw (1979) mengkategorikan perairan dengan plankton

didominasi golongan polisaproik memiliki ciri berbau organik tinggi yang bisa diuraikan, tidak adanya oksigen, BOD tinggi, terdapat *hidrogen sulfide*, komunitas bakteri dan protozoa padat, bau menyengat seperti H₂S teramati, perairan didominasi oleh golongan organisme α – *mesosaprobik* memiliki ciri oksigen terlarut tinggi, tidak terdapat hidrogen sulfide, kaya akan bakteri dan protozoa, bau H₂S tidak teramati, perairan didominasi oleh golongan organisme β – *mesosaprobik* bercirikan proses oksidasi atau *mIneralisasi* dengan kandungan oksigen tidak pernah kurang dari kejenuhan 50 %, DO tinggi, BOD minimal 3 ppm, terjadi penurunan bakteri dan protozoa, Meningkatnya perbedaan tanaman dan hewan dan perairan yang didominasi oleh oligosaprobik memiliki kriteria proses oksidasi dan *mIneralisasi* menjadi sempurna, kandungan organik rendah, ditandai dengan rendahnya jumlah bakteri, tingginya perbedaan spesies ikan, oksigen terlarut tinggi, BOD lebih kecil dari 3 ppm. Hal tersebut diperkuat oleh Anggoro (1988) menyatakan kelompok biota yang lebih dominan, digolongkan menjadi beberapa bagian, diantaranya yaitu untuk golongan polisaprobik memiliki tingkat pencemaran berat. Perairan didominasi oleh golongan organisme α – *mesosaprobik* dianggap tingkat pencemaran sedang sampai berat. Perairan didominasi oleh golongan organisme β – *mesosaprobik* memiliki tingkat pencemaran ringan sampai sedang. Perairan yang didominasi oleh oligosaprobik memiliki pencemaran ringan atau belum tercemar.

Osmoregulasi

Osmoregulasi adalah mekanisme homeostatis yang aktif mengontrol keseimbangan cairan sel dengan cara menyeimbangkan pemasukan serta pengeluaran cairan intrasel dan ekstrasel untuk kepentingan hidup (Hohmann *et al.*, 2007). Aktivitas tersebut dilakukan dengan cara mengatur volume air didalam cairan ekstrasel serta mengatur pertukaran ion antara cairan intrasel dengan cairan ekstrasel (Mantel dan Farmer, 1983). Pengaturan osmoregulasi pada ikan adalah teknik adaptasi yang khusus yang akan membuat mereka bertahan pada lingkungan yang baru dimana terdapat ketimbangan dalam jumlah air untuk mempertahankan cairan tubuh mereka dimanapun mereka hidup, hal ini disebut sebagai osmoregulatory (Lantu, 2010), ikan tawar biasanya bersifat *hyperosmotic regulatory* (Moniruzzaman *et al.*, 2022).

- Osmo darah

Osmo darah merupakan cairan yang berada pada sel atau tubuh. Dalam proses pengaturan osmotik dalam tubuh, semakin tinggi salinitas media semakin tinggi pula beban kerja ikan untuk menyeimbangkan tekanan osmolaritas (media dan darah) maupun menyeimbangkan kandungan elektrolit (media dan darah), jadi energi yang terbuang kearah *kInerja* osmotik lebih besar (Rachmawati *et al.*, 2012).

- Osmo media

Osmo media merupakan cairan yang berada pada media makhluk hidup berada. Salinitas pada air menimbulkan tekanan osmotik yang tiap tempat tidak sama dari tekanan osmotik di dalam tubuh

organisme perairan. Hal ini menjadi penyebab organisme harus melakukan mekanisme osmoregulasi pada dalam tubuhnya sebagai upaya menyeimbangkan tekanan osmotik tubuh dengan tekanan osmotik lingkungan di luar tubuh (Viernanda *et al.*, 2018).

- Tingkat Kinerja Osmotik (TKO)

Tingkat kerja osmotik yang semakin rendah dapat diartikan semakin sedikitnya energi yang digunakan untuk osmoregulasi sehingga porsi energi untuk meningkatkan kelangsungan hidup dan pertumbuhan semakin besar. Penurunan pertumbuhan ikan ketika dipelihara pada salinitas air yang tidak optimal dapat disebabkan oleh meningkatnya aktifitas Na^+K^+ -ATPase dan pengeluaran energi (Boeuf dan Payan, 2001; Sampaio dan Bianchini, 2002). Penelitian Imsland *et al.*, (2003) menerangkan bahwa kebutuhan energetik untuk pengaturan ion secara umum akan lebih rendah pada lingkungan yang isoosmotik, dengan demikian energi yang disimpan untuk meningkatkan pertumbuhan lebih banyak.

E. Model-model Penerimaan Teknologi

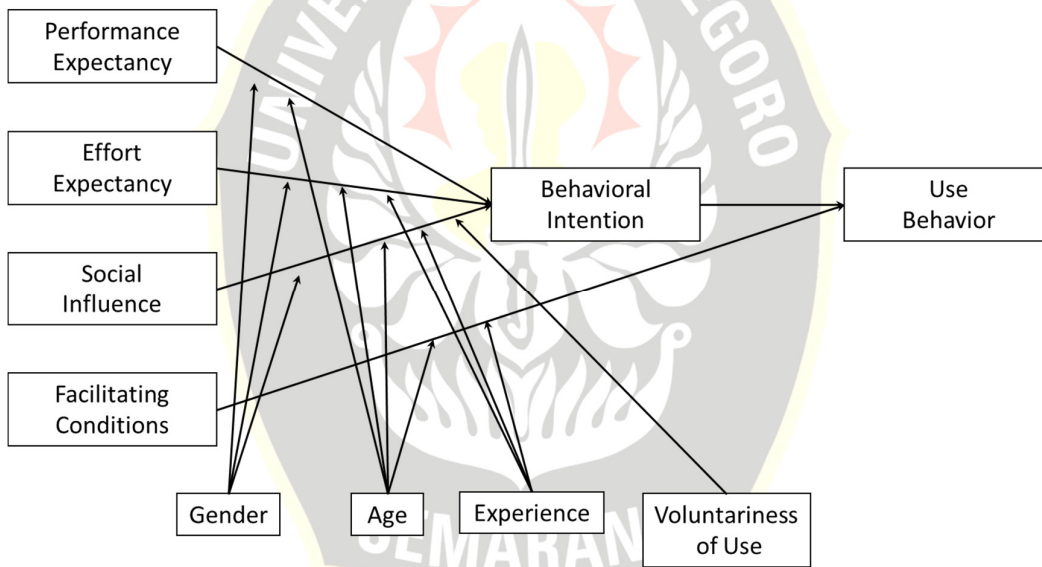
Model penerimaan teknologi yang banyak digunakan dalam adopsi teknologi adalah model TAM (Davis, 1989). Chen *et al.* (2013) menyatakan bahwa *perceived Usefulness* dan *Perceived ease of Use* merupakan variabel terpenting dalam model TAM, karena untuk dapat diadopsi sebuah teknologi diperlukan pemahaman mengenai mudah digunakannya teknologi tersebut dan juga bermanfaat bagi pengguna. Model TAM telah mengalami perubahan untuk mendapatkan model penerimaan teknologi yang sesuai dengan keadaan. Venkatesh *et al.*, (2003) menggabungkan berbagai macam variable-variabel dari model *user acceptance*, TAM, *Theory of Planned Behaviour* (TPB), *Theory of Reasoned Action* (TRA) dan sebagainya.

Perkembangan teknologi ramah lingkungan meningkatkan kepedulian mengenai adopsi teknologi ramahlingkungan oleh pengguna. Yaghoubi *et al.*, (2019) meneliti penerimaan petani professional pada penggunaan biofuel. Penelitian tersebut menggunakan *structural equation modeling* (SEM). Hasil yang didapatkan *Outcome efficacy*, *problem perception*, dan *perceived benefits* berpengaruh pada norma petani selanjutnya berpengaruh pada petani dalam penggunaan bahan bakar biofuel. Wang *et al.* (2018) meneliti keinginan konsumen menggunakan jasa transportasi secara berbagi. Adapun sampel yang digunakan adalah mahasiswa dari universitas-universitas di China. Hasil yang didapatkan bahwa *personal innovativeness*, *environmental awareness*, dan *perceived usefulness* berpengaruh terhadap keinginan konsumen menggunakan berbagi jasa transportasi. Verma dan Sinha, (2017) meneliti faktor yang berpengaruh terhadap petani dalam penggunaan aplikasi jasa pertanian. Metode yang digunakan SEM dengan menggunakan faktor *perceived usefulness* (PU), *perceived ease of use* (PEOU), *social influence* (SIn), *attitude* (At), *perceived economic wellbeing* (PEWB) dan *behavioral intention* (BI). Hasil yang didapatkan faktor *social influence* mempengaruhi *attitude*, *PEOU*, *PEWB* dan *PU*. (Yoon, 2018) mengajukan model penerimaan teknologi ramah lingkungan dengan model dasar TAM ditambahkan faktor *normative* (*descriptive*, *injunctive*, dan *personal norms*). Hasil

dari penelitian ini bahwa *personal norms*, *descriptive norms (a type of social norms)*, dan *environmental beliefs* seperti *perceived usefulness* mempengaruhi langsung individu untuk menggunakan *Green IT*. Hal lainnya *government regulations* dan *environmental beliefs* mempunyai efek signifikan terhadap *normative*.

Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)

UTAUT merupakan penggabungan dari beberapa model penerimaan teknologi (Venkatesh *et al.*, 2003). Penggabungan ini dilakukan untuk mendapatkan model penerimaan teknologi yang dapat digunakan diberbagai kondisi. Model penerimaan teknologi yang ada lebih mengukur penerimaan teknologi perorangan sebagai konsumen bidang informasi teknologi. Pada model UTAUT (Gambar 8.), menggabungkan beberapa model terdahulu seperti *User Acceptance*, TAM, *Motivational Model (MM)*, *Innovation Diffusion Theory (IDT)*, *Social Cognitive Theory (SCT)*, *Model of PC Utilization (MPCU)* dan lain-lain, selain itu juga model ini menggunakan moderating faktor yang mempengaruhi variabel.



Gambar 8. Model *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (Venkatesh *et al.*, 2003)

Performance Expectancy (harapan terhadap kinerja)

Venkatesh *et al.*, (2003) mendefinisikan harapan terhadap kinerja/ harapan terhadap kinerja (PE) sebagai kepercayaan seseorang terhadap sebuah sistem baru yang digunakan akan membantu meningkatkan performa. Variabel dibangun berdasarkan variabel dari model-model lain seperti TAM, MM, MPCU, IDT dan SCT. Variabel ini merangkum variabel yang menerangkan mengenai kegunaan teknologi bagi pengguna, keuntungan relatif dan hasil yang diharapkan.

Effort Expectancy (harapan akan usaha)

Harapan akan usaha (EE) merupakan tingkat kemudahan teknologi digunakan oleh pengguna (Venkatesh *et al.*, 2003). Variabel ini dibentuk karena dianggap ada persamaan dari *perceived ease*

of use, complexity, dan ease of use dari model terdahulu (Davis, Bagozzi, dan Warshaw 1989; Moore dan Benbasat 1991; Thompson, Higgins, dan Howell 1991; Plouffe, Hulland, dan Vandenbosch 2001). Variabel ini merupakan persepsi pengguna terhadap besar upaya yang harus diberikan dalam menggunakan hal baru.

Social Influence (pengaruh lingkungan sosial)

Pengaruh lingkungan sosial (Sin) didefinisikan sebagai pengaruh dari pandangan orang lain yang percaya sistem baru harus digunakan semua orang. Pengaruh lingkungan sosial merupakan variabel yang langsung mempengaruhi *behavioral intentional*, pada model lain direpresentasikan sebagai *subjective norm* dalam TRA, TAM2, DTPB dan C-TAM-TPB, *social factor* di MPCU, dan *image* di IDT (Venkatesh *et al.*, 2003). Thompson *et al.*, (1991) menggunakan istilah *social norm* dalam mendefinisikan konstruksinya, dan mengakui kesamaannya dengan *subjective norm* dalam TRA.

Facilitating Conditions (kondisi fasilitas pendukung)

Kondisi fasilitas pendukung (FC) didefinisikan sebagai persepsi terhadap infrastruktur, dan organisasi dapat mendukung penggunaan teknologi (Venkatesh *et al.*, 2003). Definisi ini mengambil konsep dari tiga konstruksi model yang berbeda yaitu *perceived behavioral control* (TPBI DTPB, C-TAM-TPB), *facilitating conditions* (MPCU), dan *compatibility* (IDT).

Moderating variabel

Variabel moderating merupakan variabel yang dapat memperkuat atau memperlemah hubungan langsung antara variabel independen dengan variabel dependen. Variabel moderating memiliki pengaruh terhadap sifat atau arah hubungan antar variabel. Pada model ini memiliki variabel moderating yaitu:

- Gender (Jenis kelamin)

Jenis kelamin merupakan variabel yang dapat mempengaruhi variabel-variabel secara tidak langsung pada variabel *performance expectancy*, *effort expectancy*, dan *social influence*. Minton dan Scheider (1980 dalam Venkatesh *et al.*, 2003) berpendapat bahwa terdapat pengaruh jenis kelamin terhadap kinerja, laki-laki biasanya fokus terhadap tugas yang harus diselesaikan. Venkatesh dan Morris (2000) menjelaskan bahwa perempuan lebih mementingkan usaha yang lebih ringan dibandingkan laki-laki. Peran jenis kelamin memiliki pengaruh dalam kehidupan social (Lynott dan Jane Mccandless, 2000).

- Age (Usia)

Variabel moderating usia merupakan variabel yang mempengaruhi semua variabel pada model UTAUT. Variabel usia mempengaruhi seseorang dalam mengharapkan performa teknologi untuk membantu pekerjaan. Kemudahan dalam menggunakan teknologi juga dapat dipengaruhi oleh

variabel usia (Plude dan Hoyer 1985; dalam Venkatesh *et al.*, 2003). Variabel social influence terpengaruh oleh variabel *moderating* usia (Lubinski *et al.*, 1983). Variabel *facilitating condition* dipengaruhi oleh variabel *moderating* usia, usia yang lebih tua biasanya memerlukan fasilitas yang lebih baik (Venkatesh, 2000).

- *Experience* (Pengalaman)

Variabel *moderating* pengalaman didefinisikan pengalaman seseorang dalam penggunaan teknologi akan berpengaruh terhadap penggunaan teknologi melalui variabel lain. Variabel *moderating* ini mempengaruhi variabel *effort expectancy*, *social influence*, dan *facilitating condition* (Venkatesh *et al.*, 2003). Davis *et al.*, (1989) menggambarkan bahwa seseorang akan mengeluarkan usaha lebih besar pada masa awal menggunakan teknologi baru.

- *Voluntariness of Use* (kesukarelaan penggunaan)

Variabel *moderating* kesukarelaan penggunaan mempengaruhi variabel *social influence* (Venkatesh *et al.*, 2003). Variabel *moderating* ini didefinisikan kesukarelaan seseorang dalam menggunakan teknologi (Moore dan Benbasat 1991).

- *Educational Level* (tingkat pendidikan)

Variabel *moderating* tingkat pendidikan mempengaruhi hubungan variabel *Performance Expectancy*, *Effort Expectancy*, dan *Social Influence* terhadap *Behaviour Intention* serta *Facilitating Condition* terhadap *Use Behavior* (Dzulhaida dan Giri, 2017; Jahanshahi *et al.*, 2020). Tingkat pendidikan merupakan tingkat pendidikan pengguna teknologi, hal ini juga dianggap mempengaruhi variabel *environmental concern* (Cruz, 2017; Tam dan Chan, 2018).

Environmental Concerns (Kepedulian lingkungan)

Kepedulian lingkungan (EC) merupakan hal penting bagi masalah lingkungan saat ini (Diekmann dan Franzen 2019). Kepedulian lingkungan didefinisikan sebagai kepedulian seseorang terhadap lingkungan, diri sendiri dan orang sekitarnya (Schultz, 2001). Orang yang peduli terhadap lingkungan akan mempertimbangkan penggunaan sesuatu berdasarkan dampak pada lingkungan (J. Wu *et al.*, 2019). Kepedulian terhadap lingkungan dapat dimaknai dengan penggunaan lahan yang efektif, sehingga tidak diperlukan penambahan lahan untuk produksi pangan