

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan yang terjadi akhir-akhir ini sudah berdampak dalam berbagai aspek seperti pencemaran air, pencemaran udara, yang berdampak terhadap kondisi lingkungan yang berbahaya. Pencemaran lingkungan terjadi karena ulah manusia itu sendiri yang tidak dapat mengolah dan memanfaatkan lingkungan dengan baik sehingga berdampak kepada kesehatan dan keselamatan manusia (Sompotan & Sinaga, 2022).

Tahu adalah jenis makanan yang memiliki nilai gizi tinggi, mengandung protein dengan bahan dasar kacang kedelai. Kebutuhan terhadap kedelai mencapai 2,3 juta ton pertahun, dimana 40% yang dikonsumsi berupa tahu, 50% berupa tempe dan 10% minyak kedelai (Buchori et al., 2012). Industri tahu dapat meningkatkan perekonomian masyarakat, tetapi juga dapat memberi dampak negatif karena limbah yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan (Handayani et al., 2016). Limbah apabila tidak dilakukan penanganan dengan baik akan menyebabkan pencemaran (Indah,boedi, 2014).

Pengelolaan limbah yang baik bertujuan untuk mengurangi beberapa dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, sumber penyakit, dan merusak ekosistem badan air (Aktif & Ratnani, 2011). Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Fitoremediasi yaitu teknik pembersihan limbah atau

area terkontaminasi limbah dengan menggunakan tanaman hidup (tanaman akumulator). Fitoremediasi dianggap sebagai teknologi yang inovatif, ekonomis, dan relatif aman terhadap lingkungan (Sidauruk, 2015) karena fitoremediasi merupakan upaya penggunaan tumbuhan hijau sebagai dekontaminasi limbah (Djo et al., 2017).

Kayu apu adalah salah satu jenis tumbuhan gulma yang mudah berkembang biak di air. Kayu apu memiliki akar panjang, lebar, dan bercabang halus, serta memiliki sistem perakaran yang luas. Kayu apu mudah berkembang biak yang dimana hal ini menjadi salah satu pertimbangan penggunaan tumbuhan kayu apu dalam fitoremediasi (Rahadian et al., 2017). Menurut (Fachrurozi et al., 2010), tumbuhan kayu apu memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan kadar senyawa organik maupun anorganik yang ada pada limbah cair.

Arang aktif merupakan suatu karbon yang mempunyai kemampuan daya serap yang baik terhadap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas. Beberapa bahan yang mengandung banyak karbon dan terutama yang memiliki pori dapat digunakan untuk membuat arang aktif (Siskayanti et al., 2020). Dimana pada penelitian (Wardani et al., 2020) mendapatkan hasil bahwa tingkat kekeruhan berkurang secara signifikan menggunakan bahan arang aktif jati. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ariyani et al., 2017), kemampuan penyerapan arang aktif dari kulit singkong dengan suhu karbonasi 700°C dengan konsentrasi activator NaOH 0,3N merupakan penyerap yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda berpengaruh terhadap kadar TDS pada limbah cair industri tahu?
2. Apakah fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda berpengaruh terhadap nilai pH pada limbah cair industri tahu?
3. Apakah fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda berpengaruh terhadap kadar COD pada limbah cair industri tahu?
4. Apakah fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda berpengaruh terhadap kadar DO pada limbah cair industri tahu?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar TDS limbah cair industri tahu.
2. Untuk mengetahui pengaruh fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap nilai pH limbah cair industri tahu.
3. Untuk mengetahui pengaruh fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar COD limbah cair industri tahu.
4. Untuk mengetahui pengaruh fitoremediasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar DO limbah cair industri tahu.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat praktis

Dapat menambah pengetahuan dalam menangani problematika limbah cair tahu dengan proses fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan arang kayu.

2. Manfaat teoritis dan metodologis

Dapat dijadikan pengembangan ilmu di bidang kesehatan masyarakat khususnya pada bidang lingkungan dan pengolahan limbah cair tahu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah zat buangan yang di hasilkan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik (rumah tangga) (Wahyudi, 2022). Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang berdampak negatif terhadap masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Air limbah industri maupun rumah tangga (domestik) apabila tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan (Isnaini, 2020).

2.1.1 Jenis-Jenis Limbah Cair

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menjelaskan pengertian dari limbah yaitu sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Pengertian limbah cair lainnya adalah sisa hasil buangan proses produksi atau aktivitas domestik yang berupa cairan. Limbah cair dapat berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur (tersuspensi) maupun terlarut dalam air. Limbah cair dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok diantaranya (Isnaini, 2020) :

- a. Limbah cair domestik (domestic wastewater), yaitu limbah cair hasil buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan, perdagangan dan perkantoran. Contohnya yaitu:

air sabun, air detergen sisa cucian, dan air tinja.

- b. Limbah cair industri (industrial wastewater), yaitu limbah cair hasil buangan industri. Contohnya yaitu: sisa pewarnaan kain/bahan dari industri tekstil, air dari industri pengolahan makanan, sisa cucian daging, buah, atau sayur.
- c. Rembesan dan luapan (infiltration and inflow), yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai sumber yang memasuki saluran pembuangan limbah cair melalui rembesan ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan. Air limbah dapat merembes ke dalam saluran pembuangan melalui pipa yang pecah, rusak, atau bocor sedangkan luapan dapat melalui bagian saluran yang membuka atau yang terhubung ke permukaan. Contohnya yaitu: air buangan dari talang atap, pendingin ruangan (AC), bangunan perdagangan dan industri, serta pertanian atau perkebunan.
- d. Air hujan (storm water), yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan dipermukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair sehingga dapat disebut limbah cair.

2.1.2 Limbah Cair Tahu

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, air limbah atau limbah cair merupakan sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah tahu merupakan bahan pencemar apabila dibuang ke lingkungan perairan dapat

menimbulkan bau busuk, penyakit dan menurunkan konsentrasi oksigen terlarut (Prayitno et al., 2020).

Limbah tahu berasal dari buangan atau sisa pengolahan kedelai yang terbuang. Limbah ini terjadi karena adanya sisa air tahu yang tidak menggumpal, potongan tahu yang hancur karena proses penggumpalan yang tidak sempurna serta cairan keruh kekuningan yang dapat menimbulkan bau tidak sedap bila dibiarkan (Saenab et al., 2018). Limbah cair tahu merupakan proses dari pencucian, perendaman, penggumpalan dan pencetakan selama pembuatan tahu (Marian et al., 2019).

Limbah cair dari pabrik tahu mengandung senyawa organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak, sehingga apabila dibuang ke dalam sungai atau danau, maka airnya menjadi tercemar (Said et al., 2015). Limbah cair dapat berasal dari perendaman dan pencucian kedelai, pencucian alat produksi, penyaringan, dan pengepresan atau pencetakan tahu (Arifin, 2012).



Gambar 2.1 Limbah Cair Tahu

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

2.1.3 Dampak Limbah Cair

Menurut (Rukandar, 2017) berdasarkan komponen dan sumber pencemaran air maka dapat didefinisikan beberapa dampak yang ditimbulkan yaitu :

- a. Kehidupan spesies yang berada di air banyaknya zat pencemar pada air limbah akan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut sehingga mengakibatkan kehidupan organisme dalam air yang membutuhkan oksigen terganggu serta mengurangi perkembangannya.
- b. Kualitas air septic tank atau tempat penyimpanan limbah banyak terdapat di tanah sementara air tanah digunakan sebagai salah satu sumber air bersih oleh banyak masyarakat hal ini menyebabkan banyak sumur mengalami pencemaran limbah tersebut.
- c. Kesehatan atau penyakit menular ini berhubungan dengan mikroba atau bakteri yang muncul akibat limbah yang berasal dari rumah tangga yang masuk ke dalam air.

2.1.4 Karakteristik Limbah Cair Tahu

Secara umum karakteristik air buangan dapat digolongkan atas sifat fisika, kimia, dan biologi. Akan tetapi, air buangan industri biasanya hanya terdiri dari karakteristik fisika dan kimia. Parameter yang digunakan untuk menunjukkan karakter air buangan industri tahu adalah (Kaswinarni, 2007):

- a. Parameter fisika, seperti kekeruhan, suhu, zat padat, bau dan lain-lain.

- b. Parameter kimia, dibedakan atas kimia organik dan kimia anorganik. Kandungan organik (BOD, COD, TOC) oksigen terlarut (DO), minyak atau lemak, nitrogen total, dan lain-lain. Sedangkan kimia anorganik meliputi: pH, Pb, Ca, Fe, Cu, Na, sulfur, dan lain-lain.

2.1.5 Pengelolaan Limbah Cair Tahu

Penanganan air limbah tahu sangat perlu dilakukan mengingat sebagian besar masih mengandung effluent dengan kualitas yang melebihi syarat baku mutu air limbah yang telah ditetapkan serta merugikan bagi lingkungan tempat pembuangannya. Berbagai sistem penanganan limbah telah diupayakan, tentu saja dengan segala kelebihan dan kekurangannya. Penanganan limbah dapat dilakukan secara fisika, kimia, biologis, maupun gabungan ketiganya (Rahayu et al., 2012).

2.2 Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stariotes. L*)

Kayu apu (*Pistia stariotes. L*) merupakan tumbuhan air yang efektif menyerap dan menurunkan berbagai logam berat seperti Hg, Cd, Mn, Ag, Pb, Zn pada perairan sehingga dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi dalam memperbaiki kualitas suatu perairan yang tercemar (Munawwaroh & Pangestuti, 2018). Kayu apu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dengan cara fitoremediasi (Raissa & Tangahu, 2017).

Kayu apu terdapat fitokelatin sehingga protein yang ada di atom belerang pada sistein berfungsi mereduksi logam berat yang

masuk ke dalam tanaman, maka akan diklat dengan suatu protein dan disimpan sebagian ke daun. Tanaman ini umumnya tahan akan unsur hara yang sangat rendah di air akan tetapi respon terhadap kadar hara yang tinggi juga besar. Kayu apu mampu menyerap logam berat seperti Cd dan Pb, secara fisiologis tumbuhan ini memiliki kemampuan menyerap radioaktif sehingga digunakan untuk pencemar radioaktif di lingkungan karena kelebihannya, tanaman kayu menyerap radioaktif di akarnya kemudian translokasi di dalam tumbuhan, Sehingga kayu apu digunakan untuk fitoremediasi (Diara, 2017).



Gambar 2.2 Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia striotes. L*)

(Sumber : Kayu Apu, Spesies Gulma yang Mencegah Pencemaran Air (greeners.co))

2.2.1 Klasifikasi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia striotes. L*)

Klasifikasi tumbuhan kayu apu adalah sebagai berikut (Zaman, B., & Syafrudin, 2015)

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta

Kelas	: Liliopsida
Subkelas	: Arecidae
Ordo	: Arales
Famili	: Araceae
Genus	: Pistia
Spesies	: <i>Pistia stratiotes L</i>

2.2.2 Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*)

Tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) memiliki tinggi sekitar 5-10 cm hidup dipermukaan air dengan cara mengambang. Kayu apu tidak memiliki batang, berdaun tunggal, memiliki bentuk sedikit melengkung menyerupai mawar, ujung membulat, memiliki pangkal runcing, panjang sekitar 2-10 cm (Yuzammi, 2018). Kayu apu tumbuh liar di danau, kolam-kolam ikan atau sungai kecil dengan arus yang tidak deras dan sering ditemukan tumbuh di selokan. Biasanya sering menjadi gulma pada suatu tempat yang kandungan nutrisi airnya relatif tinggi, misalnya di sawah-sawah. Jenis ini umumnya ditemukan tumbuh subur di dataran rendah. Tumbuhan kayu apu memiliki kemampuan bertahan hidup pada suhu 15°C - 35°C, serta suhu optimumnya antara 22°C - 30°C (Dewi Setyawati et al., 2021).

2.2.3 Mekanisme Penyerapan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*)

Menurut (Fika Hariyanti, 2016), mekanisme penyerapan tumbuhan kayu apu dalam menyerap polutan adalah sebagai berikut:

- a. Penyerapan pada akar polutan yang larut dalam air di ambil oleh akar sedangkan senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Akar tanaman kayu apu yang serabut menjadi tempat menempelnya koloid yang melayang di air.
- b. Translokasi polutan dari akar ke bagian tanaman Lain Polutan yang menembus endodermis akar mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut ke bagian daun.
- c. Lokalisasi polutan pada sel solutan yang telah diserap akan diuraikan melalui proses metabolisme tumbuhan secara enzimatik.

2.2.4 Manfaat Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*)

Manfaat tanaman kayu apu sebagai pakan ternak, obat dan pupuk. Selain itu, karena kayu apu mempunyai daya mengikat butiran-butiran lumpur yang halus maka dapat digunakan untuk menjernihkan air bagi industri maupun keperluan sehari-hari. Menurut Pusat Litbang PU Sumberdaya Air, Tanaman kayu apu mampu menurunkan unsur N dan P secara berturut turut yaitu 25% dan 12% per minggu dengan penyerapan kadar awal 0,847 mg/l dan 0,493 mg/l setiap minggunya (Fitriana, 2018).

2.3 Arang Kayu

Arang adalah suatu bahan padat berpori yang dihasilkan melalui proses pirolisis (karbonisasi) dari bahan-bahan yang mengandung karbon (Lempang, 2014). Karbon aktif adalah suatu bentuk arang atau karbon yang mempunyai daya absorpsi sangat baik

terhadap limbah, khususnya limbah cair. Hal itu disebabkan karena pada suatu karbon atau arang terdapat pori-pori atau rongga yang terdapat pada struktur molekulnya. Karbon aktif dipilih dalam pengolahan air dan limbah karena memiliki sejumlah sifat kimia maupun fisika yang menarik, di antaranya mampu menyerap zat organik maupun anorganik, dapat berlaku sebagai penukar kation, dan sebagai katalis untuk berbagai reaksi (Hartuno et al., 2014).

Arang aktif adalah arang yang sudah diaktifkan sehingga mempunyai daya serap yang cukup tinggi terhadap warna, bau, zat-zat beracun dan lain-lainnya. Arang merupakan suatu bahan yang bersifat amorf, arang aktif bersifat kristalit yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas dan memiliki luas permukaan dalam yang besar, sehingga mempunyai daya serap yang baik. Arang aktif dapat digunakan sebagai pemucat, penyerap gas, penyerap logam dan sebagainya. Dalam garis besarnya arang aktif dapat digunakan dalam industri pangan dan non pangan. Arang aktif memiliki luas permukaan yang sangat tinggi yaitu di atas $600 \text{ m}^2/\text{gram}$. Luas permukaannya sangat besar disebabkan oleh adanya struktur berpori sehingga arang aktif memiliki sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat menyerap gas dan senyawa-senyawa kimia karena besarnya volume pori-pori dan luas permukaannya (Rasdiansyah et al., 2014). Arang sering digunakan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan absorpsi atau menyerap unsur-unsur logam ataupun fenol dalam air sehingga menjadi jernih (Ikhwan, 2016).



Gambar 2.3 Arang Kayu

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani kuno yaitu nabati/tanaman, dan bahasa Latin yaitu *remedium* (memulihkan keseimbangan atau perbaikan); menggambarkan pengobatan masalah lingkungan (bioremediasi) melalui penggunaan tanaman yang mengurangi masalah lingkungan tanpa perlu menggali bahan kontaminan dan membuangnya di tempat lain. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Rondonuwu, 2014).

Fitoremediasi merupakan metode yang diterapkan untuk mengatasi pencemaran tanah maupun air. Teknik ini menggunakan tumbuhan untuk menyaring dan mendegradasi bahan beracun seperti adanya kandungan logam berat (Hamzah & Priyadarshini, 2019). Keunggulan yang dimiliki fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan dinilai lebih efektif dibandingkan metode lain karena tidak menimbulkan polusi sekunder (Suhartini & Nurika, 2018). Keuntungan lain fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *in situ* dan

ex situ, mudah diterapkan dan tidak memerlukan banyak biaya. Tidak memerlukan peralatan khusus dan dapat diterima oleh masyarakat (Caroline & Moa, 2015).

Fitoremediasi menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan untuk meremediasi air dan tanah, karena selain efektif mengembalikan fungsi metode ini juga memiliki biaya lebih rendah dibandingkan dengan metode lain. Tanaman yang dapat digunakan dalam metode ini mempunyai bentuk yang beraneka ragam, baik itu berbentuk seperti rerumputan maupun seperti alang-alang (Ratnawati & Fatmasari, 2018). Tanaman yang digunakan dalam proses fitoremediasi merupakan tanaman hiperakumulator yang bersifat mampu menyerap pencemar dan mampu bertahan hidup pada media pencemar. Kemampuan tanaman dalam menyerap zat pencemar bergantung pada jenis tanaman dan kadar dari zat pencemar yang terdapat pada media (Irhamni et al., 2018).

2.4.1 Mekanisme Fitoremediasi

Fitoremediasi logam berat dari area tercemar umumnya terjadi melalui satu atau lebih dari mekanisme berikut, diantaranya (Muthusaravanan et al., 2018) :

- a. Phytoaccumulation adalah proses tumbuhan dalam menarik zat kontaminan dalam tanah kemudian diakumulasikan di sekitar akar. Selanjutnya akan diteruskan menuju bagian tumbuhan lainnya seperti pada akar, batang, dan daun. Kontaminan dihilangkan dengan cara memanen tumbuhan

tersebut.

- b. Phytostabilization adalah proses tumbuhan menarik zat kontaminan ke akar tumbuhan dan tidak dapat diteruskan ke bagian tumbuhan lainnya. Zat-zat tersebut menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa aliran air. Adanya kerja sama dengan mikroba juga dapat mengubah logam ke bentuk yang kurang aktifnya.
- c. Phytodegradation adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme tumbuhan. Polutan diubah dalam bentuk yang kurang beracunnya. Proses ini berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim dari tumbuhan tersebut. Beberapa enzim yang berperan dalam proses Phytodegradation adalah nitroreduktase, lakase, dehalogenase, peroksidase, dan nitrilase.
- d. Phytovolatilization merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan merubahnya menjadi bersifat volatil agar tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Pada selenium dan merkuri diubah menjadi senyawa volatil yang berupa dimetil selenida dan merkuri oksida.
- e. Hydraulic Control pada proses ini tumbuhan bertindak sebagai pompa dan menank air menuju bagian atas, dengan demikian tumbuhan dapat mengontrol pergerakan air dan menyerap kontaminan dalam air tersebut.

2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

Menurut Sari (2018), fitoremediasi memiliki kelebihan dan kekurangan.

Berikut merupakan kelebihan dari proses fitoremediasi yaitu:

- a. Fitoremediasi dianggap teknologi yang inovatif, ekonomis, dan relatif aman terhadap lingkungan sehingga merupakan solusi untuk remediasi beberapa daerah yang tercemar logam berat.
- b. Teknik ini memiliki keuntungan jelas bahwa biaya lebih murah bila dibandingkan dengan teknik in situ atau ex situ lainnya.
- c. Tanaman dapat dengan mudah dimonitor untuk memastikan pertumbuhan.
- d. Logam berharga dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi.
- e. Keuntungan lainnya dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis.

Berikut merupakan kekurangan dari proses fitoremediasi yaitu:

- a. Tehnik ini memerlukan waktu yang lebih lama dan bergantung kepada iklim.
- b. Terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman

tersebut.

- c. Dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem.

2.5 TDS

Total Padatan Terlarut atau Total Dissolved Solids (TDS) adalah terlarutnya zat padat, baik berupa ion, berupa senyawa, koloid di dalam air (Nicola, 2015). Total Dissolved Solid (TDS) Meter adalah alat untuk mengetes jumlah zat padat yang terlarut dalam air. Hasil pengukuran TDS Meter mempunyai satuan Part Per Million (ppm) yaitu bagian per satu juta. ppm dapat diartikan suatu jumlah ion dalam suatu larutan. Sebagai contoh, terdapat 1 ppm ion Na^+ dalam suatu larutan, ini berarti dalam larutan tersebut terdapat 1 juta ion Na^+ . Total Dissolved Solid (TDS) merupakan salah satu indikator tingkat pencemaran air yang sering dianalisis. Nilai TDS maksimum untuk air minum adalah 1000 mg/l (WHO). Prinsip dasar TDS, Total Dissolved Solid (TDS) adalah parameter yang menunjukkan kandungan padatan terlarut dalam air yang termasuk didalamnya unsur-unsur pencemaran seperti logam berat dan limbah organik. Semakin tinggi nilai TDS semakin tercemar kualitas air yang diukur (Studi et al., 2021).

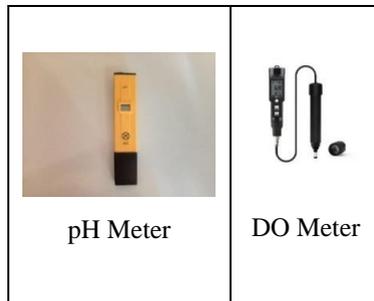


Gambar 2.4 TDS Meter
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

2.6 pH

pH atau derajat keasaman adalah parameter untuk kualitas air, pH berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah, jika nilai pH terlalu rendah menyebabkan penurunan oksigen terlarut (Hariono et al., 2015). Nilai pH berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pengolahan kedelai yaitu 6-9.

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang berkerja berdasarkan prinsip elektrolit / konduktivitas suatu larutan (Suliyanti, 2016).



Gambar 2.5 pH Meter & DO Meter

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

2.7 COD

COD (*chemical oxygen demand*) atau kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan agar buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi yaitu melalui reaksi kimia atau banyaknya oksigen-oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . COD adalah salah satu parameter kunci sebagai pendeteksi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD maka semakin buruk kualitas air yang ada (Haeruddin & Ayuningrum, n.d.).

2.8 DO

Dissolved Oxygen (DO) adalah jumlah oksigen yang terkandung didalam air. DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernafasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan – bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas

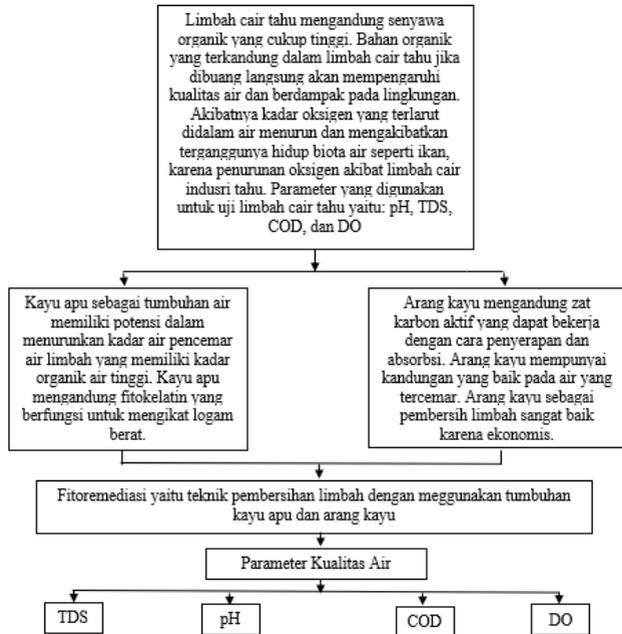
dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut (Saputri, 2014) .

Menurut (Patty, 2014) mengatakan bahwa pada umumnya kandungan oksigen sebesar 5ppm dengan suhu berkisar antara 20-30°C masih baik untuk kelangsungan hidup biota laut.

BAB III

KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

3.1 Kerangka Pemikiran



3.2 Hipotesis

1. Ada pengaruh signifikan penggunaan tumbuhan kayu apu (*Pistisia stiototesL.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar TDS limbah cair tahu.
2. Ada pengaruh signifikan penggunaan tumbuhan kayu apu (*Pistisia stiototesL.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap nilai pH limbah cair tahu.
3. Ada pengaruh signifikan penggunaan tumbuhan kayu apu (*Pistisia stiototesL.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar CDO limbah cair tahu.
4. Ada pengaruh signifikan penggunaan tumbuhan kayu apu (*Pistisia stiototesL.*) dan arang kayu pada hari yang berbeda terhadap kadar DO limbah cair tahu.

BAB IV

MATERI DAN METODE PENELITIAN

4.1 Materi Penelitian

4.1.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan, dimulai dari bulan Februari 2023 hingga bulan Mei 2023. Tempat pelaksanaan berada di Green House Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya.

4.1.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: bak plastik ukuran Panjang 36 cm x lebar 30 cm x tinggi 12 cm, pH meter, DO meter, TDS meter.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: tanaman kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*), arang kayu, limbah cair tahu.

4.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental di lapangan dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). RAL merupakan jenis rancangan dengan faktor tunggal, dimana terdiri dari 2 taraf, setiap taraf disebut dengan perlakuan. Penelitian ini terdiri dari 3 perlakuan dan 6 kali ulangan.

4.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tahapan dan proses pengambilan data dari percobaan yang dilakukan. Tabel perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini :

Tabel 4.1 Perlakuan dan ulangan limbah cair tahu uji COD dan DO

Hari	Perlakuan	Ulangan					
		1	2	3	4	5	6
H0	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6
H12	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6

Tabel 4.2 Perlakuan dan ulangan limbah cair tahu uji TDS dan pH

Hari	Perlakuan	Ulangan					
		1	2	3	4	5	6
H0	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6
H4	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6
H8	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6
H12	P1	P1.1	P1.2	P1.3	P1.4	P1.5	P1.6
	P2	P2.1	P2.2	P2.3	P2.4	P2.5	P2.6
	P3	P3.1	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5	P3.6

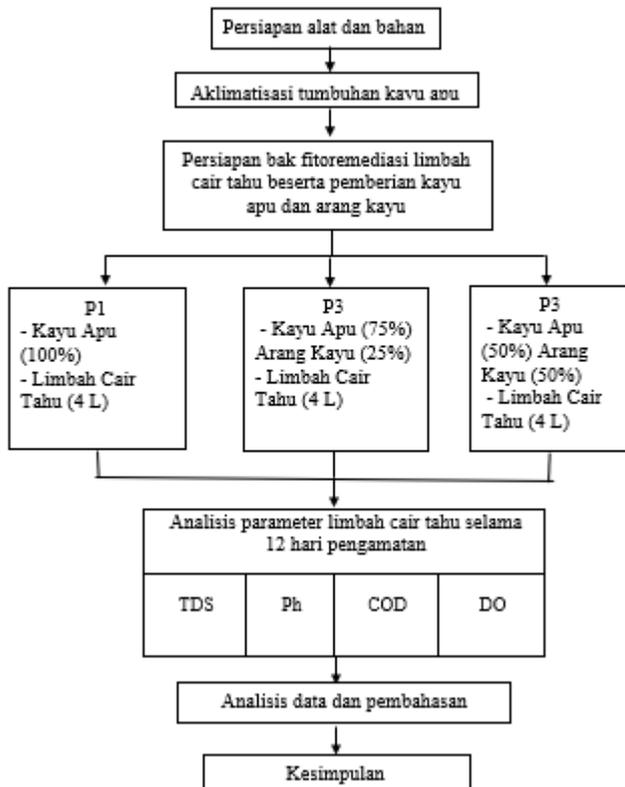
Keterangan :

P1 = Perlakuan kayu apu 100%

P2 = Perlakuan kayu apu 75% + arang kayu 25%

P3 = Perlakuan kayu apu 50% + arang kayu 50%

Bagan Rancangan Penelitian



4.4 Prosedur Penelitian

4.4.1 Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk pengambilan sampel limbah cair tahu di industri pabrik tahu yang ada di Sidoarjo.

4.4.2 Persiapan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistisia stratiotes L.*)

Tumbuhan penyerap logam berat (akumulator) yang digunakan dalam proses fitoremediasi ini adalah tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*). Kriteria tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) yang digunakan yaitu diambil seluruh organ tubuhnya meliputi akar, batang dan daun.

4.4.3 Aklimatisasi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistisia stratiotes L.*)

Pada tahap aklimatisasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia stratiotes L.*) dimasukkan ke dalam air bersih dengan tujuan untuk membersihkan akar pada tumbuhan dan juga untuk membantu tumbuhan beradaptasi dengan lingkungan baru. Aklimatisasi tumbuhan dilakukan dengan mengadaptasikan tumbuhan pada media air dalam ember selama 7 hari. Aklimatisasi selama 1 minggu mengacu pada penelitian Suryati Tuti dan Budhi Priyanto (2003) dalam Mahyatun (2014). Setelah masa aklimitisasi selesai, maka tumbuhan tersebut siap untuk dipergunakan dalam penelitian.

4.4.4 Persiapan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan Arang Kayu Setiap Perlakuan

P1 = Kayu apu 100%

P2 = Kayu apu 75% + arang kayu 25%

P3 = Kayu apu 50% + arang kayu 50%

4.4.5 Fitoremediasi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistisia stratiotes L.*) dan Arang Kayu

Setelah aklimatisasi selesai, tumbuhan akan dipindahkan ke bak berisi air limbah cair sebanyak 4 liter untuk setiap perlakuan. Pada setiap wadah berisi tumbuhan kayu apu dan arang kayu yang sudah ditimbang sebelumnya. Perlakuan fitoremediasi dilakukan selama 2 minggu. Dengan pengambilan sampel dilakukan setiap 4 hari sekali.

4.4.6 Pengujian Sampel Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi

Pengujian sampel limbah cair tahu dilakukan secara 4 tahap, yaitu awal sebelum perlakuan, 4 hari setelah perlakuan, 8 hari setelah perlakuan, dan 12 hari setelah perlakuan. Pengujian sampel limbah cair tahu masih-masing perlakuan diukur menggunakan parameter TDS, pH, COD, dan DO.

4.5 Pengujian Laboratorium

4.5.1 Uji TDS (Total Dissolved Solids)

Uji TDS dilakukan dengan menggunakan alat TDS meter yaitu, untuk mengukur berapa jumlah padatan yang terlarut pada air dalam satuan ppm (mg/L) yang ditunjukkan berbentuk angka digital pada displaynya. Penggunaan TDS meter dilakukan dengan cara mencelupkan ujung TDS meter kedalam air uji, kiranya sedalam 5 cm dalam posisi on, dan tahan kurang lebih sewaktu 2 hingga 3 menit hingga angka penanda dalam monitor digital stabil.

4.5.2 Uji pH (Potensial Hydrogen)

Uji pH dilakukan menggunakan alat pH meter yaitu, dengan cara mencelupkan pH meter pada sampel untuk mengetahui asam atau basa suatu limbah. Berikut adalah tata cara penggunaannya :

- a. Mengambil sampel limbah cair tahu yang akan diukur kadar pH.
- b. Menyalakan tombol ON pada pH meter.
- c. Masukkan pH meter ke dalam wadah yang berisi limbah cair yang akan diuji.
- d. Pada saat dicelupkan ke dalam sampel, skala angka akan bergerak acak.
- e. Tunggu hingga angka tersebut berhenti dan tidak berubah-ubah.
- f. Hasil akan terlihat di display digital.

4.5.3 Uji COD (Chemical Oxygen Demand)

Analisis uji COD dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan (BBLK) Surabaya. Analisis COD diujikan pada awal sebelum perlakuan fitoremediasi dan akhir setelah perlakuan fitoremediasi.

4.5.4 Uji DO (Dissolved Oxygen)

Uji DO dilakukan dengan menggunakan alat DO meter yaitu, untuk mengukur kadar oksigen terlarut dalam air. Pengukuran tingkat kualitas air dilihat dari oksigen terlarut (*Dissolved Oksigen*). Semakin

tinggi kandungan DO maka semakin bagus kualitas air tersebut. Berikut adalah tata cara penggunaannya:

- a. Ukur konsentrasi DO dari sampel limbah cair tahu dengan mencelupkan batang probe DO meter dengan benar-benar tenggelam.
- b. Setelah beberapa saat mencelupkan sehingga pengukuran tidak bergerak, angkat probe dan bilas lalu keringkan probe, kemudian simpan kembali DO meter pada tempat yang tersedia.

4.7 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (*independent variable*) pada penelitian ini yaitu : konsentrasi tumbuhan kayu apu (*Pistisia statiotes L.*) dan arang kayu. Indikator variable bebas terdiri dari 3 perlakuan dengan konsentrasi kayu apu 100%, kayu apu 75% + arang kayu 25%, dan kayu apu 50% + arang kayu 50%. Dengan masing-masing 6 kali ulangan, 3 perlakuan sehingga jumlah keseluruhan sampel sebanyak 18 sampel.
- b. Variabel Terikat (*dependen variable*) yang dipengaruhi dalam penelitian ini yaitu : kadar TDS, pH, COD, dan DO.
- c. Variabel Kontrol meliputi bak, volume limbah cair tahu, dan waktu pengambilan sampel limbah cair tahu.

4.8 Metode Analisis Data

Penelitian ini merupakan penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL).

Berikut merupakan analisis data yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Pada penelitian ini menggunakan analisis varian dua arah (ANOVA). Analisis varian dua arah digunakan apabila yang dianalisis terdiri dari dua faktor variabel bebas yaitu konsentrasi fitoremediasi dan hari pengamatan. Penelitian ini menggunakan uji F Two Factor within Subject Design dengan bantuan SPSS. Penarikan kesimpulan dilakukan dengan melihat nilai sig. Jika nilai signifikan $\geq 0,05$, artinya H_0 diterima dan H_1 ditolak, maka variabel independen tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Jika nilai signifikan $\leq 0,05$, artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima, maka variabel independen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen.
- b. Apabila hasil analisis varian dua arah (Anova) menunjukkan ada pengaruh yang signifikan, akan dilakukan uji lanjut menggunakan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT). Uji Duncan bertujuan untuk mengetahui beda nyata antar perlakuan serta mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik.

BAB V

HASIL PENELITIAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hasil Penelitian Uji TDS (*Total Dissolved Solids*)

Tabel 5.1 Data Hasil Penelitian Uji TDS

Hari ke	Perlakuan	Ulangan						Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	
H0	P1	610	610	610	610	610	610	610
	P2	610	610	610	610	610	610	610
	P3	588	588	588	588	588	588	588
H4	P1	592	578	578	612	615	615	598,3
	P2	773	752	773	1010	1050	1050	901,3
	P3	892	992	992	1060	1100	1100	1022,6
H8	P1	815	815	815	945	945	963	883,0
	P2	1040	1040	1070	1070	1140	1140	1083,3
	P3	1160	1160	1170	1170	1170	1190	1170
H12	P1	948	948	948	1010	1010	1010	979,0
	P2	1150	1150	1150	1580	1580	1580	1365
	P3	1320	1320	1630	1400	1400	1400	1411,6

Dari tabel 5.2 dapat diketahui bahwa setelah dilakukannya uji menggunakan Anova *Two Way* menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa nilainya signifikan, yang artinya H0 ditolak dan H1 diterima, maka perlakuan dan hari variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar TDS.

Untuk mengetahui beda nyata antara perlakuan serta mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik maka, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 5.2 Hasil Uji Anova Two Way Pada TDS**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: TDS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	68657187.333 ^a	12	5721432.278	644.956	.000
Perlakuan	4810605.778	2	2405302.889	271.141	.000
Hari	273533.944	3	91177.981	10.278	.000
Perlakuan * Hari	602664.889	6	100444.148	11.323	.000
Error	532262.667	60	8871.044		
Total	69189450.000	72			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .991)

Tabel 5.3 Hasil Uji Duncan Fitoremediasi Pada TDSDuncan^a

PerlakuanxHari	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
P1H8	6	588.00				
P1H12	6	598.33				
P1H0	6	610.00				
P1H4	6	610.00				
P2H8	6		883.00			
P2H0	6		901.33			
P3H4	6		979.00	979.00		
P2H4	6			1022.67		
P2H12	6			1083.33	1083.33	
P3H0	6				1170.00	
P3H8	6					1365.00
P3H12	6					1411.67
Sig.		.717	.100	.074	.116	.394

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

5.1.2 Hasil Penelitian Uji pH (*Potensial Hydrogen*)

Tabel 5.4 Data Hasil Penelitian Uji pH

Hari ke	Perlakuan	Ulangan						Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	
H0	P1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	P2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	P3	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
H4	P1	6,3	6,3	6,4	6,5	6,5	6,5	6,41
	P2	7,2	6,9	6,6	7,2	7,2	6,9	7,0
	P3	6,0	6,0	6,1	7,5	7,5	7,6	6,78
H8	P1	7,9	7,9	7,8	7,9	8,0	8,0	7,91
	P2	8,0	8,0	8,0	8,3	8,3	8,3	8,15
	P3	8,3	7,9	7,9	8,3	8,2	8,3	8,15
H12	P1	8,4	8,3	8,3	8,5	8,5	8,5	8,41
	P2	8,5	8,6	8,6	8,5	8,5	8,5	8,53
	P3	8,4	8,3	8,3	8,5	8,4	8,4	8,5

Dari tabel 5.5 dapat diketahui bahwa setelah dilakukannya uji menggunakan Anova *Two Way* menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,004 \leq 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa nilainya signifikan, yang artinya H0 ditolak dan H1 diterima, maka perlakuan dan hari remediasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pH.

Untuk mengetahui beda nyata antara perlakuan serta mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik maka, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 5.5 Hasil Uji Anova Two Way Fitoremediasi Pada pH
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Model	3711.317 ^a	12	309.276	4457.146	.000
Perlakuan	.827	2	.413	5.959	.004
Hari	136.053	3	45.351	653.579	.000
Perlakuan * Hari	1.494	6	.249	3.589	.004
Error	4.163	60	.069		
Total	3715.480	72			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Tabel 5.6 Hasil uji Duncan Fitoremediasi Pada pH

Duncan^a

PerlakuanxHari	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
P3H0	6	4,600						
P1H0	6		5,100					
P2H0	6		5,100					
P1H4	6			6,417				
P3H4	6				6,783			
P2H4	6				7,000			
P1H8	6					7,917		
P3H8	6					8,133	8,133	
P2H8	6					8,150	8,150	
P3H12	6						8,383	8,383
P1H12	6						8,417	8,417
P2H12	6							8,533
Sig.		1,000	1,000	1,000	,159	,153	,093	,358

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

5.1.3 Hasil Penelitian Uji COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Tabel 5.7 Data Hasil Penelitian Uji COD

Hari ke	Perlakuan	Ulangan						Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	
H0	P1	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000
	P2	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000
	P3	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000
H12	P1	156,8	142,8	138,7	138,7	156,8	142,8	146,1
	P2	107,2	107,2	183,7	281,0	183,7	281,0	190,63
	P3	347,1	298,7	256,1	256,1	347,1	298,7	300,63

Dari tabel 5.8 dapat diketahui bahwa setelah dilakukannya uji menggunakan Anova *Two Way* menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa nilainya signifikan, yang artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima, maka perlakuan dan hari remediasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar COD.

Untuk mengetahui beda nyata antara perlakuan serta mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik maka, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 5.8 Hasil Uji Anova Two Way Pada COD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	162888400.073 ^a	6	27148066.679	20881.443	.000
Perlakuan	37963.769	2	18981.884	14.600	.000
Hari	69933636.268	1	69933636.268	53790.765	.000
Perlakuan * Hari	37963.769	2	18981.884	14.600	.000
Error	39003.147	30	1300.105		
Total	162927403.220	36			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Tabel 5.9 Hasil Uji Duncan Pada COD

Duncan^a

PerlakuanxHari	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P1H12	6	146.100			
P2H12	6		190.633		
P3H12	6			300.633	
P1H0	6				3000.000
P2H0	6				3000.000
P3H0	6				3000.000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

5.1.4 Hasil Penelitian Uji DO (*Dissolved Oxygen*)

Tabel 5.10 Data Hasil Penelitian Uji DO

Hari ke	Perlakuan	Ulangan						Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	
H0	P1	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5
	P2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5
	P3	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
H12	P1	7,2	7,2	7,1	7,4	7,3	7,3	7,25
	P2	8,6	8,5	8,6	8,2	8,2	8,5	8,43
	P3	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10

Dari tabel 5.11 dapat diketahui bahwa setelah dilakukannya uji menggunakan Anova *Two Way* menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa nilainya signifikan, yang artinya H0 ditolak dan H1 diterima, maka perlakuan dan hari remediasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar DO.

Untuk mengetahui beda nyata antara perlakuan serta mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik maka, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 5.11 Hasil Uji Anova Two Way Pada DO

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	193.961 ^a	5	38.792	5096.796	.000
Intercept	1473.280	1	1473.280	193569.672	.000
Perlakuan	5.791	2	2.895	380.401	.000
Hari	168.567	1	168.567	22147.482	.000
Perlakuan * Hari	19.604	2	9.802	1287.847	.000
Error	.228	30	.008		
Total	1667.470	36			
Corrected Total	194.190	35			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Tabel 5.12 Hasil Uji Duncan Pada DO

Duncan^a

Perlakuan: Hari	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
P3H0	6	3.700				
P1H0	6		4.500			
P2H0	6		4.500			
P1H12	6			7.250		
P2H12	6				8.433	
P3H12	6					10.000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

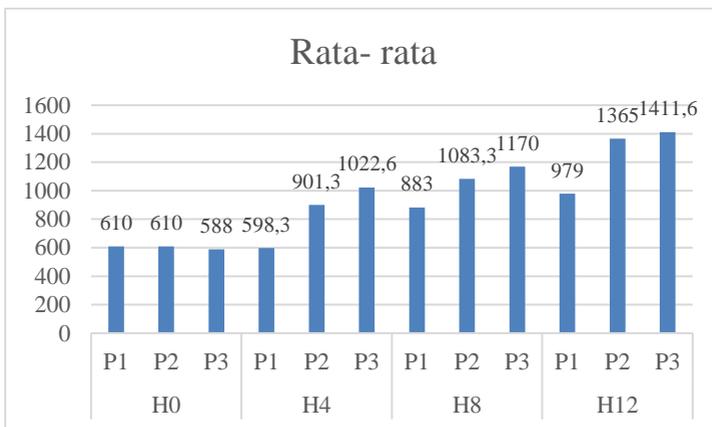
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

BAB VI

PEMBAHASAN PENELITIAN

6.1 TDS (Total Dissolved Solids)

Hasil fitoremediasi terhadap kadar TDS dengan tiga perlakuan yaitu pada hari ke-0 sampai hari ke-12 disajikan pada gambar 6.1



Gambar 6.1 Diagram Batang Fitoremediasi Parameter TDS

Menurut penelitian Ilyas (2013), TDS yang memiliki konsentrasi tinggi dapat menyebabkan terjadinya pencemaran dan kematian organisme lain. Nilai TDS yang bagus adalah nilai TDS yang rendah. Nilai baku mutu air terhadap parameter uji TDS yang diperbolehkan menurut standar nasional adalah 1000 mg/L (Permenkes, 2010)

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan Anova *Two Way* yang menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ dan

kemudian dilakukan uji lanjut DMRT, dari hasil DMRT menunjukkan bahwa adanya pengaruh fitoremediasi terhadap penurunan kadar TDS.

Dimana kadar TDS yang paling baik terdapat pada perlakuan 1 (kayu apu 100%) hari ke-4 yaitu sebesar 598,3 mg/L, sedangkan kadar TDS paling buruk terdapat pada perlakuan 3 (kayu apu 50% + arang kayu 50%) hari ke-12 yaitu sebesar 1411,6 mg/L.

Fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu lebih efektif dalam menurunkan kadar TDS dibandingkan kombinasi kayu apu dengan arang kayu.

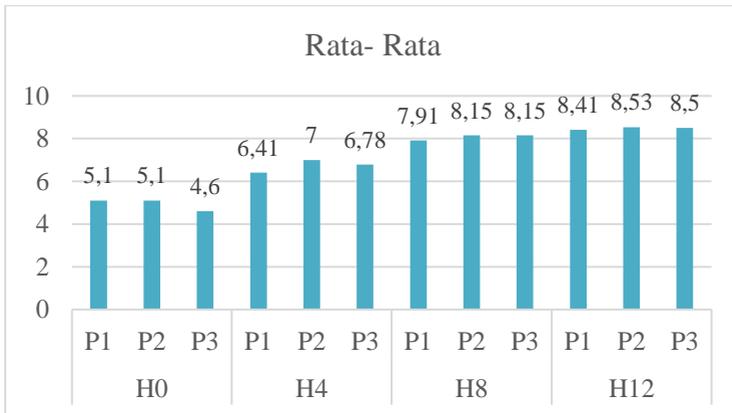
Penurunan kadar ini dikarenakan partikel yang bercampur dengan air semakin lama mampu menurunkan kadar air secara perlahan. Proses penurunan TDS juga memanfaatkan aktivitas mikroorganisme pada tumbuhan, adanya mikroorganisme yang melakukan penguraian padatan organik dan anorganik seperti surfaktan, zat builder, zat filter dan zat additive sehingga dapat mereduksi padatan terlarut (Kustiyansih & Irawanto, 2020). Mikroorganisme pada akar tumbuhan mampu menguraikan bahan-bahan organik maupun bahan anorganik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, sehingga akar lebih mudah menyerap bahan-bahan tersebut (Suriawiria & Dasar, 2005).

Fitoremediasi menggunakan kombinasi kayu apu dan arang kayu menunjukkan hasil kadar TDS yang tinggi, ini menunjukkan penambahan arang kayu tidak memberikan hasil yang baik. Pada

penelitian fitoremediasi ini pengaruh arang kayu yang dimasukkan ke bak percobaan yang berisi limbah cair tahu menjadi jernih namun mengakibatkan air menjadi kotor karena arang kayu yang melebur menjadi serbuk dan mengendap, hal ini membuat kadar TDS menjadi tinggi.

6.2 pH (Potensial Hydrogen)

Hasil fitoremediasi terhadap kadar pH dengan tiga perlakuan yaitu pada hari ke-0 sampai hari ke-12 disajikan pada gambar 6.2



Gambar 6.2 Diagram Batang Fitoremediasi Parameter pH

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan Anova *Two Way* yang menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,004 \leq 0,05$ dan kemudian dilakukan uji lanjut DMRT, dari hasil DMRT menunjukkan bahwa adanya pengaruh fitoremediasi terhadap nilai pH.

Dimana nilai pH yang paling baik terdapat pada perlakuan 2 (kayu apu 75% + arang kayu 25%) hari ke-4 yaitu sebesar 7,2. Sedangkan nilai pH yang paling buruk terdapat pada perlakuan 2 (kayu apu 75% + arang kayu 25%) hari ke-12 yaitu sebesar 8,53.

Menurut PERMENKES No.492/Menkes/Per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum mensyaratkan kadar maksimum yang diperbolehkan untuk pH yaitu sebesar 6,5-8,5. pH air limbah sebelum pengolahan bersifat asam hal ini berpengaruh terhadap tumbuhan air yang akan menghambat dalam proses penguraian bahan organik (Tania, 2019).

Fitoremediasi menggunakan kombinasi tumbuhan kayu apu dan arang kayu lebih efektif dalam memperbaiki pH dibandingkan fitoremediasi tumbuhan kayu apu saja.

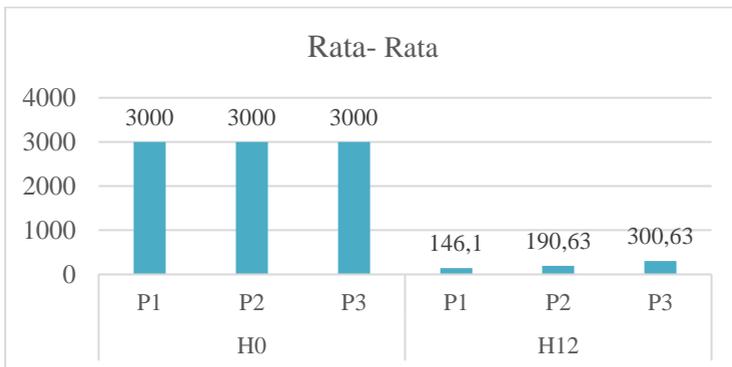
Nilai pH pada tumbuhan kayu apu dalam proses fitoremediasi mengalami peningkatan. Peningkatan nilai pH disebabkan oleh proses fotosintesis yang menghasilkan O₂ dan melepas ion OH⁻ ke dalam air serta mengambil ion H⁺ yang terdapat pada air. CO₂ yang terlibat pada proses fotosintesis tumbuhan kayu apu diduga berupa molekul karbondioksida bebas (CO₂) dan ion bikarbonat (HCO₃⁻) karena fitoremediasi berlangsung pada kisaran nilai pH 3–7. Kenaikan pH akan diikuti dengan menurunnya kelarutan dari senyawa-senyawa yang bersifat toksisitas pada limbah (Soheti et al., 2020).

Arang aktif merupakan senyawa karbon, yang didapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas (N. P. Sari & Mashuri, 2020).

Peningkatan nilai pH air disebabkan karena adanya kation dalam karbon aktif yang terlarut dalam air. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan pada warna jernih dan air tidak berbau setelah pemberian karbon aktif dapat disebabkan terserapnya kandungan zat organik, zat besi atau logam dalam air oleh pori-pori karbon aktif sehingga menjadikan air jernih dan tidak berbau (Soepomo, 2002).

6.3 COD (Chemical Oxygen Demand)

Hasil fitoremediasi terhadap kadar COD dengan tiga perlakuan yaitu pada hari ke-0 sampai hari ke-12 disajikan pada gambar 6.3



Gambar 6.3 Diagram Batang Fitoremediasi Parameter COD

COD merupakan salah satu parameter kunci sebagai pendeteksi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD, maka semakin buruk kualitas air yang ada (Andara & Suryanto, 2014). Nilai COD yang bagus adalah nilai COD yang rendah. Standar baku mutu air limbah sesuai PerMenLH No. 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan industri mempunyai nilai maksimum kadar COD 100 mg/L (Harahap et al., 2020).

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan Anova *Two Way* yang menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ dan kemudian dilakukan uji lanjut DMRT, dari hasil DMRT menunjukkan bahwa adanya pengaruh fitoremediasi terhadap penurunan kadar COD.

Dimana kadar COD yang paling baik terdapat pada perlakuan 3 (kayu apu 50% + arang kayu 50%) hari ke-12 yaitu sebesar 300,63 mg/L. Sedangkan kadar DO paling buruk terdapat pada perlakuan 1 (kayu apu 100%) hari ke-12 yaitu sebesar 146,1 mg/L.

Fitoremediasi menggunakan kombinasi tumbuhan kayu apu dan arang kayu lebih efektif dalam menurunkan kadar COD dibandingkan fitoremediasi tumbuhan kayu apu saja.

Penurunan konsentrasi COD dapat disebabkan karena adanya mekanisme proses rhizofiltrasi selama fitoremediasi yaitu pemanfaatan akar tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi zat kontaminan yang dalam hal ini adalah COD dari air limbah. Setelahnya ada proses fitodegradasi. Proses yang terjadi dalam

fitodegradasi adalah penguraian kontaminan dalam air limbah penguraian melalui proses metabolisme dalam tumbuhan pada daerah perakaran. Setelah proses fitodegradasi, proses selanjutnya yang menyebabkan konsentrasi COD menjadi turun adalah proses fitovolatilisasi, yaitu proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap oleh tanaman. Setiap tanaman mempunyai tekanan uap dengan tingkat yang berbeda-beda, hal ini yang menentukan banyak sedikitnya tingkat fitovolatilisasi (Mangkoedihardjo, 2010).

Selain itu, (Hibatullah, 2019) menyatakan Penurunan kadar COD juga dapat dikarenakan alam mempunyai kemampuan untuk membersihkan pencemar yang berlangsung secara alami dalam badan air, atau yang biasa disebut dengan self purification. Self purification secara biologi adalah proses dimana air limbah organik dihancurkan oleh mikroorganisme dari proses respirasi dan diperoleh produk akhir yang stabil seperti karbon dioksida, air, fosfat dan nitrat.

Disisi lain efektivitas penurunan COD juga dapat disebabkan oleh waktu tinggal padatan atau substrat, kandungan oksigen, volume reaktor, dan jumlah tumbuhan yang digunakan (Masita As'ari et al., 2022). Banyaknya jumlah tumbuhan kayu apu dan karakteristik panjang akar dapat memberikan pengaruh pada proses penyisihan kadar COD dari limbah (Rahadian et al., 2017).

Penambahan arang kayu juga memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar COD pada limbah cair tahu. Hal ini karena arang memiliki kemampuan untuk menyerap bahan-bahan pencemar baik bahan organik maupun anorganik, hal ini disebabkan karena pada

permukaan arang masih memiliki gugus-gugus kimia seperti karbonil, alkohol dan asa alifatik (Utami & Nurmasari, 2012).

6.4 DO (Dissolved Oxygen)

Hasil fitoremediasi terhadap kadar DO dengan tiga perlakuan yaitu pada hari ke-0 sampai hari ke-12 disajikan pada gambar 6.4



Gambar 6.4 Diagram Batang Fitoremediasi Parameter DO

DO merupakan oksigen terlarut yang digunakan untuk mengukur kualitas kebersihan air. Semakin besar nilai kandungan DO menunjukkan bahwa kualitas air tersebut semakin bagus (Prahutama, 2013). Nilai DO yang bagus adalah nilai DO yang tinggi.

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan Anova *Two Way* yang menunjukkan hasil dengan nilai Sig. sebesar $0,000 \leq 0,05$ dan kemudian dilakukan uji lanjut DMRT, dari hasil DMRT menunjukkan bahwa adanya pengaruh terhadap peningkatan kadar DO.

Dimana kadar DO yang paling baik terdapat pada perlakuan 3 (kayu apu 50% + arang kayu 50%) hari ke-12 yaitu sebesar >10 mg/L. Sedangkan kadar DO paling buruk terdapat pada perlakuan 1 (kayu apu 100%) hari ke-12 yaitu sebesar 8,43 mg/L.

Fitoremediasi menggunakan kombinasi tumbuhan kayu apu dan arang kayu lebih efektif dalam meningkatkan kadar DO dibandingkan fitoremediasi tumbuhan kayu apu saja.

Oksigen memegang peran penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik, Karena proses ini maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami (Salmin, 2005). (Wulandari & Niken, 2013) mengatakan kadar oksigen terlarut akan meningkat dengan menggunakan tanaman air, karena oksigen tersebut didapat dari proses fotosintesis tanaman tersebut.

Arang adalah bentuk karbon yang berpori-pori berwarna hitam. Struktur karbon aktif berbentuk amorf dan mempunyai sifat kristal tertentu, berpori-pori, luas permukaan besar sehingga mampu mengadsorpsi senyawa organik bau tak sedap, warna, rasa, dan senyawa yang tak dapat dibiodegradasi (Suharto, 2011).

Proses fitoremediasi selama 12 hari ini meningkatkan kadar DO. Peningkatan tersebut menunjukkan perubahan status kualitas air dari tercemar sedang menjadi tercemar ringan (Silalahi, 2009). Hal ini dikarenakan biomassa *Pistia stratiotes L.* dan kombinasi arang

kayu sehingga, suplai kadar oksigen menjadi tinggi. Selain itu, hasil fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan juga dapat mensuplai kebutuhan akan oksigen yang akan digunakan untuk menguraikan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. Kemampuan adsorpsi karbon aktif pada arang kayu dapat dilihat dari waktu kontak. Semakin lama waktu kontak, maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan logam. Hal ini menyebabkan semakin banyak logam yang terikat didalam pori-pori karbon aktif (Gultom & Lubis, 2014).

Peningkatan nilai DO ini dapat terjadi dikarenakan adanya bantuan aerasi dan aktifitas mikroalga. Salah satu fungsi aerasi adalah mencampurkan air dan udara atau bahan lain sehingga air yang beroksigen rendah kontak dengan oksigen atau udara dan mencampurkan air yang beroksigen tinggi dengan air yang beroksigen rendah. Mikroalga dalam proses fotosintesisnya juga menghasilkan O₂ dalam perairan. Hal inilah yang menyebabkan kenaikan nilai DO pada limbah cair (Restuhadi et al., 2017).

BAB VII

KESIMPULAN

7.1 Kesimpulan

1. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu dan arang kayu dapat menurunkan kadar TDS pada limbah cair industri tahu
2. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu dan arang kayu dapat menetralkan nilai pH pada limbah cair industri tahu
3. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu dan arang kayu dapat menurunkan kadar COD pada limbah cair industri tahu
4. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu dan arang kayu dapat menaikkan kadar DO pada limbah cair industri tahu

7.2 Saran

Pada penelitian lebih lanjut juga dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan air berbeda, dengan demikian akan semakin banyak tumbuhan air yang dapat dijadikan sebagai fitoremediasi dalam menangani pencemaran limbah cair.