

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Proses Desain Proyek Pembelajaran Berorientasi Keterampilan Proses Sains Dalam Perakitan *Constructed Wetland* Untuk Fitoremediasi Limbah Domestik

Jenis penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan. Yang mana dalam penelitian ini dihasilkan sebuah desain proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains yang terdiri atas 2 produk berupa desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran dan panduan proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains. Dalam proses desain proyek pembelajaran melalui beberapa tahapan yang meliputi tahap *define* (pendefinisian), *design* (perancangan), dan *development* (pengembangan). Beberapa tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Tahap Pendefinisian (*Define*)

Pada tahap ini peneliti melakukan serangkaian kegiatan kajian pustaka melalui studi literatur dari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan pencemaran air, fitoremediasi, *constructed wetland*, keterampilan proses sains, model pembelajaran berbasis proyek dan kriteria desain proyek pembelajaran. Yang mana dari serangkaian kegiatan studi literatur tersebut peneliti dapat melakukan perencanaan terhadap desain proyek pembelajaran yang akan dibuat.

#### 2. Tahap Perancangan (*Design*)

Pada tahap ini peneliti melakukan serangkaian kegiatan perancangan terhadap produk yang akan dibuat. Yang mana dalam penelitian ini terdapat 2 produk yang dibuat yaitu desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran dan panduan proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains. Adapun proses perancangan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran dan panduan proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains dapat dijelaskan sebagai berikut.

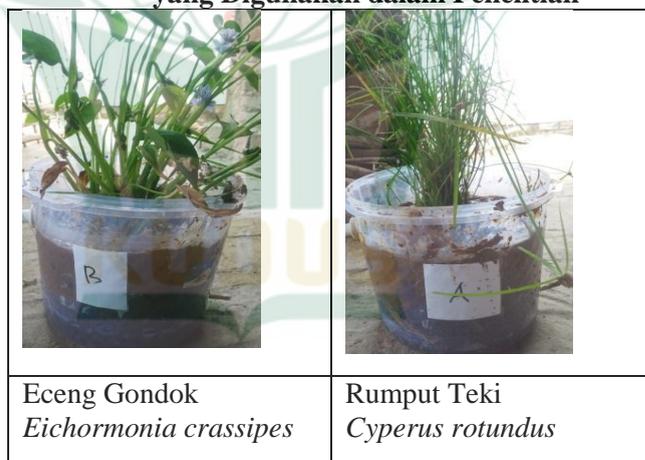
a. **Perancangan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran**

Dalam Proses perancangan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran terdapat beberapa tahapan. Berikut merupakan beberapa tahapan dalam proses perancangan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik sebagai proyek pembelajaran.

1) **Pemilihan Tumbuhan Fitoremediator**

Tumbuhan Fitoremediator merupakan tumbuhan yang berpotensi dalam menyerap dan mendegradasi kadar polutan yang terdapat di dalam air limbah. Adapun tumbuhan fitoremediator yang dipilih dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.

**Gambar 4.1 Tumbuhan Fitoremediator yang Digunakan dalam Penelitian**



Gambar 4.1 merupakan jenis tumbuhan fitoremediator yang digunakan dalam penelitian ini. Yang mana tumbuhan fitoremediator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tumbuhan eceng gondok dan tumbuhan teki. Pemilihan kedua tumbuhan tersebut di dasarkan pada hasil penelitian terdahulu yang mana tumbuhan eceng gondok memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap logam-

logam berat termasuk kadar Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Timah hitam (Pb) dengan cara melakukan penyerapan melalui permukaan sel akar<sup>1</sup>, sedangkan tumbuhan teki memiliki akar serabut yang banyak sehingga memiliki potensi yang besar dalam menyerap unsur hara dibandingkan dengan tanaman yang lain.<sup>2</sup> Selain itu tumbuhan eceng gondok dan teki mudah tumbuh dimana-mana sehingga mudah untuk ditanam dan merawatnya.

## 2) Perancangan Desain Media *Constructed Wetland*

*Constructed wetland* merupakan lahan basah buatan yang berfungsi sebagai media pengolahan air limbah dengan menggunakan tanaman yang berpotensi sebagai fitoremediator. Rancangan desain *constructed wetland* yang didesain oleh peneliti dapat dilihat pada Gambar 4.2.

**Gambar 4.2 Rancangan Desain *Constructed Wetland***



Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa desain *constructed wetland* yang dirancang merupakan tipe aliran bawah permukaan (*Subsurface Flow Constructed wetlands/SSF*) dengan arah aliran horizontal. Yang mana *constructed wetland* tipe

<sup>1</sup> Suryanti, "Efektifitas Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Fitoremediasi Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe), Timah Hitam (Pb), Mangan (Mn) Pada Leachate Tpa."

<sup>2</sup> P, Joko, and D, "Efektifitas *Constructed Wetlands* Tipe *Subsurface Flow System* Dengan Menggunakan Tanaman *Cyperus Rotundus* Untuk Menurunkan Kadar Fosfat Dan Cod Pada Limbah Cair Laundry."

aliran bawah permukaan merupakan media pengolahan air dengan sistem pengolahan yang bekerja di dasar permukaan dengan menggunakan akar tumbuhan dan media seperti pasir, kerikil dan batuan halus. Prinsip kerja sistem pengolahan limbah dengan sistem *Subsurface Flow Constructed wetlands* yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme yang terdapat di dalam media di sekitar akar (*Rhizosphere*) tumbuhansistem *constructed wetland* yang pengolahannya terjadi di atas permukaan.<sup>3</sup> Desain *constructed wetland* yang dirancang merupakan penyederhanaan dari beberapa *constructed wetland* yang telah dikembangkan. Alasan penyederhanaan tersebut karena untuk memperoleh kepraktisan desain sehingga lebih mudah apabila digunakan dalam proses pembelajaran.

### **3) Penentuan Alat dan Bahan Yang Digunakan dalam Membuat Media *Constructed Wetland***

Setelah merancang desain media *constructed wetland* yang praktis, peneliti menentukan dan mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses pembuatan media *constructed wetland*. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan media *constructed wetland* dapat dilihat pada Tabel 4.1

---

<sup>3</sup> Astuti et al., "Kinerja Subsurface Constructed Wetland Multylayer Filtration Tipe Aliran Vertikal Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetivera Zozanoides*) Dalam Penyisihan Bod Dan Cod Dalam Air Limbah Kantin."

**Tabel 4.1 Daftar Alat dan Bahan yang Digunakan  
Dalam Perakitan *Constructed Wetland***

No	Alat/Bahan	Gambar	Keterangan
1	Toples		Toples digunakan sebagai bak reaktor dari media <i>constructed wetland</i> .
2	Kran Dispenser		Kran dispenser digunakan sebagai saluran air yang telah melalui proses fitoremediasi.
3	Kerikil		Kerikil digunakan sebagai lapisan penyusun dari media <i>constructed wetland</i>
4	Pasir		Pasir digunakan sebagai lapisan penyusun dari media <i>constructed wetland</i>

5	Tanah		<p>Tanah digunakan sebagai lapisan penyusun media <i>constructed wetland</i> yang digunakan untuk menanam tumbuhan fitoremediator</p>
6	Solder		<p>Solder digunakan untuk melubangi toples yang digunakan sebagai media <i>constructed wetland</i></p>

**4) Proses Perakitan Media *Constructed Wetland***

Setelah alat dan bahan telah terkumpul peneliti mulai merakit media *constructed wetland*. Dalam proses perakitan media *constructed wetland* terdapat beberapa tahapan. Adapun tahapan perakitan *constructed wetland* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Tahapan Perakitan Media *Constructed Wetland***

No	Tahap perakitan	Gambar
1.	<p>Melubangi toples pada ketinggian 12 cm dengan menggunakan solder. Besar lubang disesuaikan ukuran saluran pada kran agar kran dapat dipasang</p>	

2.	Memasang kran pada bagian toples yang telah dilubangi.	
3.	Memasukkan kerikil ke dalam wadah toples dengan ketebalan 3 cm	
4.	Memasukkan pasir pada lapisan kedua setelah kerikil dengan ketebalan 3 cm	
5.	Memasukkan tanah pada wadah dengan ketebalan 6 cm dengan menggunakan sekop	

### 5) Proses Uji *Constructed Wetland* untuk Fitoremediasi Limbah Domestik

Dalam pengujian desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik terdapat beberapa tahapan. Adapun beberapa tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

#### a) Penanaman Tumbuhan Fitoremediator dalam Media *Constructed Wetland*

Pada tahap ini tumbuhan fitoremediator yang telah dipilih, ditanam pada media *constructed wetland*.

Dalam penelitian ini terdapat 7 reaktor yang digunakan dalam proses fitoremediasi air limbah. Yang mana dari ke-7 reaktor *constructed wetland* tersebut, 3 reaktor ditanami dengan tumbuhan eceng gondok, 3 reaktor ditanami dengan tumbuhan teki dan 1 reaktor digunakan sebagai reaktor control yang tidak ditanami tumbuhan fitoremediator. Adapun gambar ketujuh reaktor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.

**Gambar 4.3 Reaktor *Constructed Wetland* yang Digunakan dalam Proses Fitoremediasi Limbah Domestik**

No.	Jenis Reaktor	Gambar
1	Eceng Gondok A	
2	Eceng Gondok B	

3	Eceng Gondok C	
4	Teki A	
5	Teki B	
6	Teki C	
7	Control (Tanpa tanaman)	

### b) Aklimatisasi

Setelah tumbuhan fitoremediator ditanam pada media *constructed wetland* kemudian dilakukan proses aklimatisasi. Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan membiarkan tanaman selama beberapa hari setelah di tanam pada media *constructed wetland*. Proses aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan selama 2 minggu atau sekitar 14 hari. Tujuan aklimatisasi yaitu agar tanaman mampu beradaptasi dengan baik pada lingkungan yang baru sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik.<sup>4</sup>

**Gambar 4.4** Proses Aklimatisasi Tanaman Fitoremediator pada Media *Constructed Wetland*



### c) Pemberian Air Limbah

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah larutan deterjen. Pembuatan larutan deterjen yaitu dengan perbandingan 14 gram deterjen dengan 7 liter air dalam sebuah wadah. Setelah dilarutkan kemudian dilakukan pengukuran pH, TDS dan EC larutan deterjen. Hasil pengukuran terhadap larutan deterjen didapatkan nilai pH 11,10, nilai TDS

---

<sup>4</sup> Mirwan and Puspita, "Fitoremediasi Limbah Laundry Menggunakan Tanaman Mensiang (*Actinoscirpus Grossus*) Dan Lembang (*Thypha Angustifolia* L.)."

499 dan nilai EC 998. Larutan deterjen yang telah diukur pH, TDS dan ECnya, kemudian diisikan pada setiap reaktor yang telah diaklimatisasi. Pemberian air limbah pada setiap reaktor sebanyak 1 liter. Proses Pemberian air limbah deterjen pada reaktor *constructed wetland* dapat dilihat pada Gambar 4.5.

**Gambar 4.5 Proses Pemberian Air Limbah Deterjen pada Reaktor *Constructed Wetland***



**d) Pengambilan Sample Air Limbah**

Setelah semua reaktor diisi dengan air limbah kemudian dilakukan pengambilan sample air limbah untuk diukur parameternya. Proses pengambilan sample air limbah dilakukan setiap hari selama satu minggu.

**Gambar 4.6 Sample Air Limbah**

<b>Hari Pengambilan sample</b>	<b>Gambar</b>
Hari pertama	

Hari Kedua	
Hari Ketiga	
Hari Keempat	
Hari Kelima	
Hari Keenam	
Hari Ketujuh	

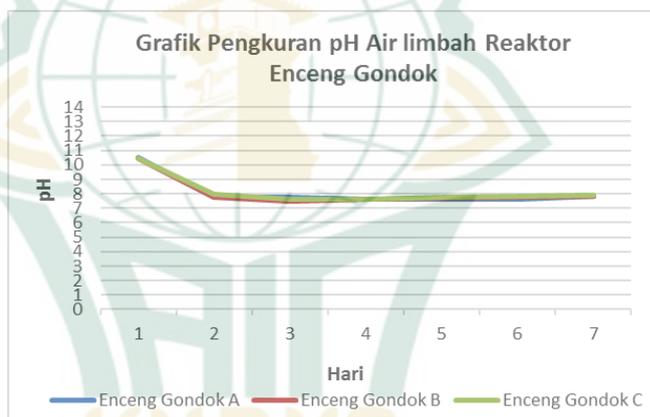
#### e) Pengukuran parameter air limbah

Parameter yang diukur pada air limbah dalam penelitian ini meliputi parameter pH (Derajat Keasaman), TDS (*Total Dissolve Solid*), EC (*Electrical Conductivity*). Yang mana proses pengukuran pH diukur dengan menggunakan alat pH meter, pengukuran TDS (*Total Dissolve Solid*) diukur menggunakan alat TDS meter dan EC (*Electrical Conductivity*) diukur menggunakan alat EC meter. Selama proses fitoremediasi tersebut terdapat parameter yang mengalami penurunan yang signifikan namun juga terdapat parameter yang tidak mengalami penurunan.

## (1) Analisis parameter pH

Dalam proses fitoremediasi pH merupakan parameter penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme.<sup>5</sup> Hasil pengukuran pH selama proses fitoremediasi (7 hari), pH air limbah yang terdapat pada tiap reaktor mengalami penurunan yang signifikan.

**Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengukuran PH Air Limbah Pada Setiap Reaktor Eceng Gondok**



Gambar 4.7 merupakan grafik hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok A, B dan C selama proses fitoremediasi (7 hari). Yang mana hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada ketiga reaktor eceng gondok (A,BC) rata-rata diperoleh hasil pengukuran yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan eceng gondok pada ketiga media *constructed wetland* diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Selama proses

<sup>5</sup> Rininta Kurnia P, Badrus Zaman, and Mochtar Hadiwidodo, "Pengaruh Jumlah Koloni Rumpuk Teki ( *Cyperus Rotundus* L .) Pada Media Pasir Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod Dan Cod (Studi Kasus Tpa Jatibarang – Semarang)" (n.d.).

fitoremediasi (7 hari) pH air limbah yang terdapat pada ketiga reaktor eceng gondok mengalami penurunan nilai pH dengan rentang penurunan 10,74-7,85. Grafik penurunan pH dapat dilihat pada gambar. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nurfadillah dkk yang mana selama proses fitoremediasi limbah cair domestic yang dilakukan 7 hari dengan perlakuan massa Ecenggondok 150 gram, pH limbah cair domestic mengalami penurunan yang signifikan dengan rentang penurunan pH 9,1-8,18.<sup>6</sup>

Selain pada reaktor eceng gondok, hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi juga diperoleh hasil pengukuran pH yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan teki pada ketiga media *constructed wetland* juga diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Grafik hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor dengan tumbuhan teki dapat dilihat pada Gambar 4.8.

**Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengukuran PH Air Limbah Pada Setiap Reaktor Teki**



<sup>6</sup> Nurfadillah, Nur Afia Awaliya B, and Nurinsa, "Fitoremediasi Limbah Domestik (Detergent) Menggunakan Eceng Gondok(Eichorniacrassipes)Untuk Mengatasi Pencemaranlingkungan" 3 (n.d.): 577–590.

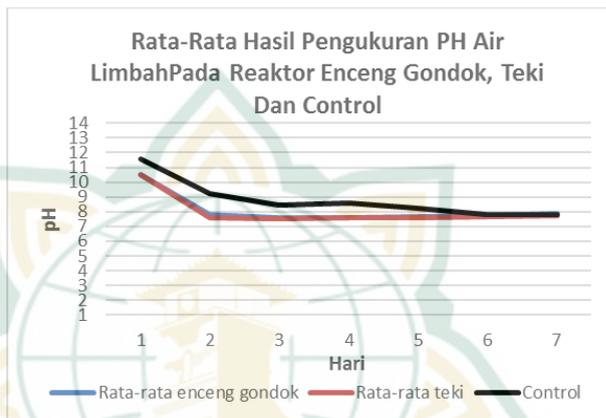
Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi (7 hari), pH air limbah yang terdapat pada ketiga reaktor teki mengalami penurunan nilai pH dengan rentang penurunan 10,47-7,72. Grafik penurunan pH dapat dilihat pada gambar. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rininta kurnia dkk yang mana dalam penelitian tersebut juga didapatkan hasil penurunan nilai pH selama proses fitoremediasi dengan menggunakan reaktor rumput teki. Penurunan pH terjadi karena proses degradasi zat organik akan menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Sebagian  $\text{CO}_2$  akan terlepas ke udara sedang sebagian yang lain tertahan dalam sistem dan terlarut menjadi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (asam karbonat). Asam karbonat terdisosiasi menjadi bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) yang nantinya diserap oleh tanaman dan  $\text{H}^+$ . Karena pH merupakan fungsi dari  $-\log \text{H}^+$  maka dengan semakin besar  $\text{H}^+$  nilai pH akan turun.<sup>7</sup>

Selain pada reaktor eceng gondok dan teki pengukuran pH juga dilakukan pada reaktor control (tanpa tanaman). Reaktor control digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui perbedaan antara pH air limbah yang difitoremediasi menggunakan reaktor tanaman dengan pH air limbah yang difitoremediasi menggunakan reaktor tanpa tanaman. Grafik hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor control, reaktor eceng gondok dan teki setelah dirata-ratakan dapat dilihat pada Gambar 4.9.

---

<sup>7</sup> P, Zaman, and Hadiwidodo, "Pengaruh Jumlah Koloni Rumput Teki ( *Cyperus Rotundus L.* ) Pada Media Pasir Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod Dan Cod (Studi Kasus Tpa Jatibarang – Semarang)."

**Gambar 4.9 Grafik Rata-Rata Hasil Pengukuran PH Air Limbah Pada Reaktor Enceng Gondok, Teki Dan Control**



Pada Gambar 4.9 hasil pengukuran pH air limbah yang terdapat pada reaktor control (tanpa tanaman) selama proses fitoremediasi (7 hari) juga mengalami proses penurunan pH. Namun penurunan pH air limbah yang terdapat pada reaktor control cenderung lebih lambat dari pada penurunan pH air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok dan teki. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nurfadillah dkk. Yang mana selama proses fitoremediasi (7 hari) penurunan pH pada limbah cair domestik (detergent) dengan menggunakan eceng gondok lebih besar jika dibandingkan dengan limbah cair domestik tanpa menggunakan tanaman eceng gondok.<sup>8</sup>

#### (2) Analisis parameter TDS

Total Dissolved Solid (TDS) atau padatan terlarut merupakan padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi.<sup>9</sup> Dalam

<sup>8</sup> Nurfadillah, B, and Nurinsa, "Fitoremediasi Limbah Domestik (Detergent) Menggunakan Eceng Gondok(Eichorniacrassipes)Untuk Mengatasi Pencemaranlingkungan."

<sup>9</sup> Elisa Kustyaningsih and Rony Irawanto, "Pengukuran Total Dissolved Solid (Tds) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan

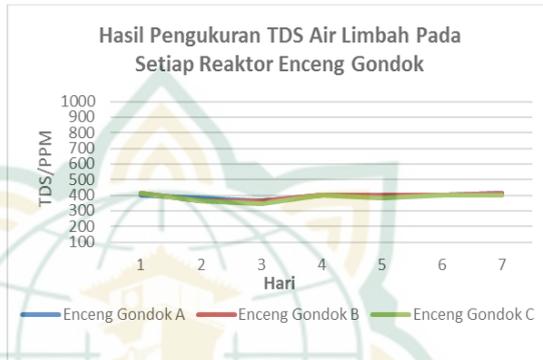
penelitian ini air limbah yang digunakan merupakan air limbah deterjen yang mana semakin tinggi konsentrasi deterjen yang larut dalam air maka semakin tinggi pula nilai TDSnya. Hasil pengukuran TDS selama proses fitoremediasi (7 hari), TDS air limbah yang terdapat pada tiap reaktor rata-rata tidak mengalami penurunan yang signifikan. Hal diduga karena konsentrasi deterjen yang terdapat dalam air limbah terlalu tinggi sehingga terjadi ketidakseimbangan antara jumlah tanaman yang terdapat pada media tanam dengan konsentrasi deterjen akhirnya mikroorganisme yang terdapat pada media tanam tidak bisa bekerja secara maksimal. Penurunan TDS sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme yang terdapat di dalam media tanam. mikroorganisme melakukan penguraian terhadap padatan organik berupa minyak, lemak dan anorganik berupa bahan- bahan kimia yang terkandung dalam deterjen seperti surfaktan, zat builder, zat filler dan zat additive yang lain. Selain itu dengan konsentrasi deterjen yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan tanaman menjadi layu dan mati akibatnya dapat meningkatkan nilai TDS yang disebabkan oleh adanya kenaikan bahan organik didalam media tanam akibat pembusukan tanaman.<sup>10</sup>

---

Sagittaria Lancifolia,” *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 7, no. 1 (2020): 143–148.

<sup>10</sup> Ibid.

**Gambar 4.10 Grafik Hasil Pengukuran TDS Air Limbah Pada Setiap Reaktor Eceng Gondok**

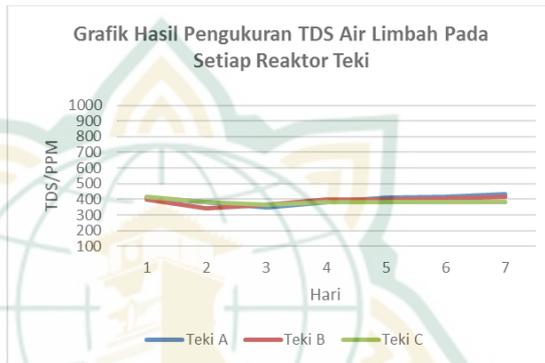


Gambar 4.10 merupakan grafik hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok A, B dan C. Hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi diperoleh hasil pengukuran TDS yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan eceng gondok pada ketiga media *constructed wetland* diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai TDS air limbah dari awal hingga akhir proses fitoremediasi rata-rata berkisar pada rentang angka 400 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses fitoremediasi (7 hari) yang dilakukan dengan menggunakan eceng gondok tidak terjadi penurunan nilai TDS yang signifikan.

Selain pada reaktor eceng gondok, hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi juga diperoleh hasil pengukuran TDS yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan teki pada ketiga media *constructed wetland* juga diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Grafik hasil pengukuran TDS air limbah

yang terdapat pada reaktor dengan tumbuhan teki dapat dilihat pada Gambar 4.11.

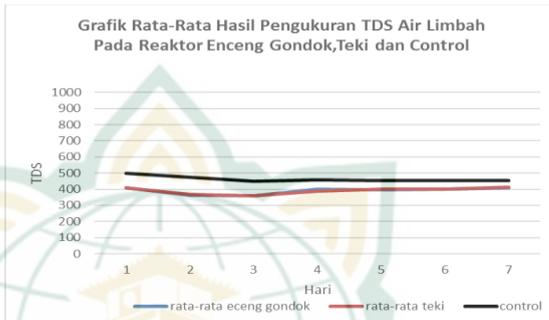
**Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengukuran TDS Air Limbah Pada Setiap Reaktor Teki**



Gambar 4.11 merupakan grafik hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai TDS air limbah dari awal hingga akhir proses fitoremediasi rata-rata berkisar pada rentang angka 400 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses fitoremediasi (7 hari) yang dilakukan dengan menggunakan tumbuhan teki tidak terjadi penurunan nilai TDS yang signifikan.

Selain pada reaktor eceng gondok dan teki pengukuran TDS juga dilakukan pada reaktor control (tanpa tanaman). Reaktor control digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui perbedaan TDS air limbah yang difitoremediasi menggunakan reaktor tanaman (eceng gondok dan teki) dengan TDS air limbah yang difitoremediasi dengan reaktor tanpa tanaman. Grafik Hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor control, reaktor eceng gondok dan teki yang telah dirata-ratakan dapat dilihat pada Gambar 4.12.

**Gambar 4.12 Grafik Hasil Pengukuran TDS Air Limbah Pada Reaktor Control, Eceng Gondok dan yang Telah dirata-ratakan**



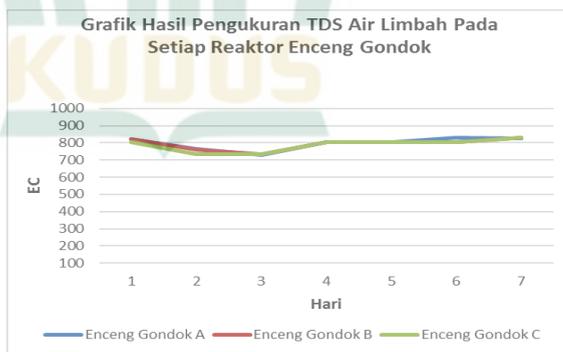
Dapat dilihat pada Gambar 4.12 hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor control (tanpa tanaman) selama proses fitoremediasi (7 hari) juga tidak terjadi penurunan yang signifikan. Namun hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor control cenderung sedikit berbeda dari pada hasil pengukuran TDS air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok dan teki. Hal ini diduga karena mikroorganisme yang terdapat pada reaktor control lebih sedikit dari pada mikroorganisme yang terdapat pada reaktor eceng gondok dan teki sehingga dapat mempengaruhi nilai TDS.

### (3) Analisis parameter EC (*Electrical Conductivity*)

EC (*Electrical Conductivity*) merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu larutan dalam menghantarkan listrik. Kualitas air tercemar dapat ditentukan berdasarkan nilai EC air tersebut. Yang mana apabila nilai EC air semakin tinggi maka semakin buruk kualitas air tersebut sebaliknya jika nilai EC semakin rendah maka semakin susah air tersebut menghantarkan arus sehingga kualitas air semakin

bagus.<sup>11</sup> Hasil pengukuran EC selama proses fitoremediasi (7 hari), EC air limbah yang terdapat pada tiap reaktor rata-rata tidak mengalami penurunan yang signifikan sama seperti hasil pengukuran TDS. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa banyaknya ion di dalam suatu larutan sangat dipengaruhi oleh padatan terlarut di dalamnya. Apabila Jumlah padatan terlarut yang terdapat di dalam larutan semakin besar maka semakin besar juga jumlah ion dalam larutan tersebut, sehingga nilai EC juga akan semakin besar. Jadi dapat disimpulkan nilai EC sangat dipengaruhi oleh nilai TDS.<sup>12</sup> Sehingga dengan demikian penurunan EC pada air limbah juga sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme yang terdapat di dalam media tanam. mikroorganisme melakukan penguraian terhadap padatan organik berupa minyak, lemak dan anorganik berupa bahan- bahan kimia yang terkandung dalam deterjen seperti surfaktan, zat builder, zat filler dan zat additive yang lain.<sup>13</sup>

**Gambar 4.13 Grafik Hasil Pengukuran EC Air Limbah Pada Setiap Reaktor Eceng Gondok**



<sup>11</sup> Nurhidayati, "Identifikasi Pencemaran Logam Berat Di Sekitar Pelabuhan Lembar Menggunakan Analisa Parameter Fisika Dan Kimia" 4, no. 1 (2016): 1–23.

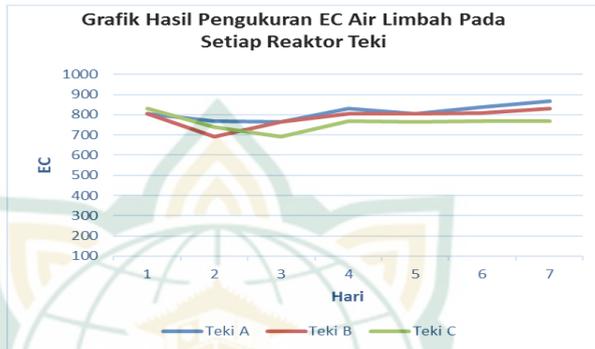
<sup>12</sup> Ibid.

<sup>13</sup> Kustiyarningsih and Irawanto, "Pengukuran Total Dissolved Solid (Tds) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan *Sagittaria Lancifolia*."

Gambar 4.13 merupakan grafik hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok A, B dan C. Hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi diperoleh hasil pengukuran EC yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan eceng gondok pada ketiga media *constructed wetland* diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai EC air limbah dari awal hingga akhir proses fitoremediasi rata-rata berkisar pada rentang angka 800. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses fitoremediasi (7 hari) yang dilakukan dengan menggunakan eceng gondok tidak terjadi penurunan nilai EC yang signifikan.

Selain pada reaktor eceng gondok, hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C selama proses fitoremediasi juga diperoleh hasil pengukuran TDS yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penanaman tumbuhan teki pada ketiga media *constructed wetland* juga diseragamkan dengan tujuan agar memperoleh data yang valid. Grafik hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor dengan tumbuhan teki dapat dilihat pada Gambar 4.14.

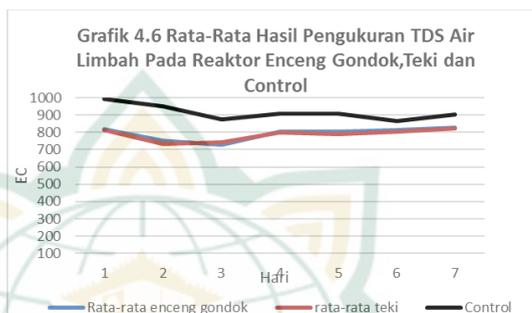
**Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengukuran EC Air Limbah Pada Setiap Reaktor Teki**



Gambar 4.14 merupakan grafik hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor teki A, B dan C. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai EC air limbah dari awal hingga akhir proses fitoremediasi rata-rata berkisar pada rentang angka 800 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses fitoremediasi (7 hari) yang dilakukan dengan menggunakan tumbuhan teki tidak terjadi penurunan nilai EC yang signifikan.

Selain pada reaktor eceng gondok dan teki pengukuran EC juga dilakukan pada air limbah yang terdapat dalam reaktor control (tanpa tanaman). Reaktor control digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui EC air limbah yang difitoremediasi menggunakan reaktor tanaman (eceng gondok dan teki) dengan EC air limbah yang difitoremediasi dengan reaktor tanpa tanaman. Grafik Hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor control, reaktor eceng gondok dan teki yang telah dirata-ratakan dapat dilihat pada Gambar 4.15.

**Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata Hasil Pengukuran EC Air Limbah Pada Reaktor Eceng Gondok, Teki dan Control**



Dapat dilihat Gambar hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor control (tanpa tanaman) selama proses fitoremediasi (7 hari) juga tidak terjadi penurunan yang signifikan. Namun hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor control cenderung sedikit berbeda dari pada hasil pengukuran EC air limbah yang terdapat pada reaktor eceng gondok dan teki. Hal ini diduga karena mikroorganisme yang terdapat pada reaktor control lebih sedikit dari pada mikroorganisme yang terdapat pada reaktor eceng gondok dan teki sehingga dapat mempengaruhi nilai EC.

Berdasarkan proses perancangan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik yang telah dilakukan, desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik memiliki potensi sebagai proyek pembelajaran yang dapat diterapkan di dalam pembelajaran berbasis proyek. Yang mana proyek yang dirancang telah disesuaikan dengan kriteria pembelajaran berbasis proyek. Thomas (2000) menetapkan bahwa terdapat 5 kriteria suatu pembelajaran dapat disebut sebagai

pembelajaran berbasis proyek. 5 kriteria tersebut yaitu sebagai berikut.<sup>14</sup>

- (a) (*centrality*), yaitu proyek yang terdapat dalam pembelajaran berbasis proyek merupakan pusat atau inti kurikulum, bukan pelengkap kurikulum. Dalam hal ini proyek yang dibuat merupakan desain constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik. Proyek tersebut telah disesuaikan dengan tujuan pembelajaran pada materi pencemaran lingkungan sub materi pencemaran air untuk SMP/MTs kelas 7. Yang mana tujuan dari pembelajaran tersebut yaitu peserta didik mampu membuat teknologi alternatif untuk mengurangi pencemaran air.
- (b) Berfokus pada pertanyaan atau masalah, yaitu proyek yang dibuat di latar belakang pada suatu pertanyaan atau permasalahan. Dalam hal ini proyek yang dibuat merupakan desain constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik. Yang mana perancangan proyek tersebut di latar belakang pada sebuah permasalahan mengenai pencemaran air.
- (c) Investigasi konstruktif atau desain, yaitu dalam pembelajaran berbasis proyek terdapat aktivitas investigasi konstruktif atau mendesain sehingga melalui aktifitas tersebut diharapkan dapat mentransformasi dan mengkonstruksi pengetahuan siswa . Dalam hal ini melalui proyek perakitan constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik diharapkan dapat mentransformasi dan mengkonstruksi pengetahuan siswa sehingga siswa dapat mendapatkan pemahaman baru, atau keterampilan baru melalui kegiatan proyek yang dikerjakan.

---

<sup>14</sup> Sofya, "Implementasi Pembelajaran Berbasis Proyek Pada Bidang Kejuruan."

- (d) Otonomi, yaitu proyek yang terdapat dalam pembelajaran berbasis proyek dapat dibuat oleh siswa, sehingga siswa dapat bertanggung jawab atas proyek yang sedang dikerjakan. Dalam hal ini desain proyek yang dibuat telah dirancang agar siswa mampu membuat proyek tersebut sehingga siswa dapat bertanggung jawab atas proyek yang sedang dikerjakan.
- (e) Realistik, yaitu proyek berfokus pada pertanyaan atau masalah otentik yang ada di kehidupan nyata, pemecahannya berpotensi untuk diterapkan di lapangan sesungguhnya. Dalam hal ini proyek yang didesain berupa *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik. Yang mana proyek tersebut didesain dengan berfokus pada permasalahan air yang ada di lingkungan, sehingga proyek tersebut diharapkan dapat berpotensi dalam mengatasi permasalahan pencemaran air yang ada di lingkungan.
- Berdasarkan kriteria

**b. Perancangan Panduan Proyek Pembelajaran Berorientasi Keterampilan Proses Sains**

Agar proyek pembelajaran (Desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik) dapat digunakan dalam kegiatan pembelajaran, maka disusun dalam panduan proyek. Panduan proyek dirancang berdasarkan proses perakitan *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik yang telah dilakukan. Penyusunan panduan proyek didasarkan pada tahapan model pembelajaran STEM-PJBL yang terdiri dari tahap *reflection*, *research*, *discovery*, *aplication* dan *comunication* yang dapat dilihat pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3 Penjelasan Tahapan Model Pembelajaran STEM PJBL pada Panduan Proyek**

No	Tahapan STEM PJBL	Deskripsi dan Bentuk Kegiatan Pada Panduan	Tampilan pada panduan
1	<i>Reflection</i>	<p>Pada tahap ini peserta didik diminta untuk memahami permasalahan yang berkaitan dengan pencemaran air seperti yang terlihat pada halaman 3</p>	 <p>The screenshot shows a reflection activity page. At the top, it asks 'Tahukah Kamu?' and provides a paragraph about water pollution. Below the text are three small images: a person washing hands, a person drinking water, and a person using a shower. A cartoon character asks 'Ada botol air mineral, seperti gambar di samping, dapat tercemar apa saja? Apa saja benda yang bisa masuk ke dalam botol air mineral?'. Below this is a table with three columns: 'No', 'Pegangan air minum di sekitar rumahmu', and 'Tahap air yang digunakan (berapa liter)'. The table has four rows for recording data. At the bottom, there is a small note: '©Tahukah Kamu? dan Tahukah Kamu? pada buku kerja siswa pada kelas semua (1)'. The page number '3' is visible at the bottom right.</p>
2	<i>Research</i>	<p>Pada tahap ini peserta didik diminta untuk mencari tumbuhan fitoremediasi yang terdapat di sekitar tempat tinggal mereka yang digunakan untuk membuat sebuah proyek constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik seperti yang terlihat pada halaman 10</p>	 <p>The screenshot shows a research activity page titled 'AYO LAKUKAN III'. It asks 'sejenis kamu mengetahui beberapa tumbuhan yang berperan sebagai fitoremediasi, carilah 2 jenis tumbuhan yang berperan sebagai fitoremediasi di sekitar rumahmu menggunakan kamus online dan tulislah di buku kerja siswa pada tabel berikut!'. Below this is a table with two columns: 'Jenis tumbuhan' and 'Rupa tumbuhan (gambar)'. The table has three rows for recording data. Below the table, there is a note: '©Tahukah Kamu? dan Tahukah Kamu? pada buku kerja siswa pada kelas semua (1)'. The page number '10' is visible at the bottom right. The page also includes a cartoon character and a photograph of a constructed wetland.</p>

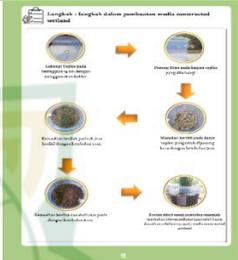
<p>3</p>	<p><i>Discovery</i></p>	<p>Pada tahap ini peserta didik diminta untuk memahami rencana pembuatan proyek dalam proses pembelajaran berbasis proyek prakitan <i>constructed wetland</i> seperti yang terlihat pada halaman 12</p>	
<p>4</p>	<p><i>Aplication</i></p>	<p>Pada tahap ini peserta didik diminta untuk mencipta/membuat sebuah proyek <i>constructed wetland</i> untuk fitoremediasi limbah domestik dan melakukan uji coba terhadap produk yang telah dibuat seperti yang terlihat pada halaman 13</p>	

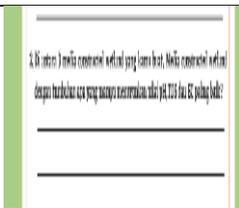
<p>5</p>	<p><b>Comunicati on</b></p>	<p>Pada tahap ini peserta didik diminta untuk mengkomunikasikan hasil proyek yang telah dibuat seperti yang terlihat pada halaman 15</p>	 <p>The image shows a student worksheet with a green header and footer. The title is 'Presentasikan di Depan Teman!'. It contains three numbered questions in Indonesian: 1. 'Berpisasa kasidit dir Buidak derespa yang iduk kasidit prosa dirasendat mnggunkan mada komonitad wadard ang kama kasit? Dgkna wita pat, TPA ana, IT dadi dir fadha derespa mngknti prosasna? Coo pakuwa wita ana yang kama pakuwa?'; 2. 'Di ana, 2 mada komonitad wadard yang kama kasit, mada komonitad wadard derespa fadhaika apa yang mngka mawarukun wita pat, TPA ana, IT jang kasit?'; 3. 'Mada mndikakn kasidit dadi mada mngga sika, berika mngkna apa wita yang wita kama pakuwa?'. At the bottom, there is a cartoon teacher character pointing to a chalkboard that says 'PRESENTASIKAN JAWABANMU DI DEPAN TEMAN-TEMANMU'.</p>
----------	-----------------------------	--	---

Penyusunan panduan proyek juga dikaitkan dengan aspek keterampilan proses sains yang meliputi 5 aspek keterampilan yaitu keterampilan observasi, keterampilan mengklasifikasikan, keterampilan mengukur, keterampilan membandingkan dan keterampilan berkomunikasi. Tujuan dikaitkan aspek keterampilan proses sains dalam penyusunan panduan proyek yaitu agar dapat melatih keterampilan proses sains siswa pada saat melakukan pembelajaran berbasis proyek. Sebaran aspek keterampilan proses sains pada panduan proyek dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Aspek Keterampilan Proses Sains Pada Panduan Proyek**

No	Aspek Keterampilan Proses Sains	Deskripsi dan Bentuk Kegiatan Pada Panduan	Tampilan pada Panduan
1	Obervasi	<p>Keterampilan observasi dilatihkan melalui kegiatan mengamati kebutuhan penggunaan air dalam kehidupan sehari-hari seperti yang terlihat pada halaman 3</p>	
		<p>Keterampilan observasi juga dilatihkan melalui kegiatan mengamati berbagai aktifitas yang dapat mencemari air seperti yang terlihat pada halaman 5</p>	
2	Mengklasifikasi	<p>Keterampilan mengklasifikasikan dilatihkan melalui perintah untuk menentukan jenis limbah pencemar air seperti yang terlihat pada halaman 6</p>	
		<p>Keterampilan mengklasifikasikan juga dilatihkan melalui kegiatan menyusun komponen</p>	

		<p>lapisan media <i>constructed wetland</i> seperti yang terlihat pada halaman 12</p>	
3	Mengukur	<p>Keterampilan mengukur dilatihkan melalui kegiatan mengukur dengan menggunakan sebuah alat ukur dalam pembuatan media <i>constructed wetland</i> seperti yang terlihat pada halaman 12</p>	
		<p>Keterampilan mengukur juga dilatihkan melalui kegiatan mengukur dengan menggunakan sebuah alat ukur dalam uji coba proyek seperti yang terlihat pada halaman 13</p>	
4	Membandingkan	<p>Keterampilan membandingkan dilatihkan melalui pertanyaan mengenai kondisi air limbah setelah melalui proses fitoremediasi dari data uji coba yang telah diperoleh seperti yang terlihat pada halaman 15</p>	
		<p>Keterampilan membandingkan juga</p>	

		dilatihkan melalui pertanyaan mengenai jenis media <i>constructed wetland</i> yang memiliki kemampuan paling baik dalam menurunkan kadar pencemar dari data uji coba yang telah diperoleh seperti yang terlihat pada halaman 15	
5	<b>Komunikasi</b>	Keterampilan berkomunikasi dilatihkan melalui kegiatan presentasi seperti yang terlihat pada halaman 15	

### 3. Tahap Pengembangan (*Development*)

Pada tahap ini merupakan tahap pengembangan yang mana produk yang telah dirancang diuji potensi kelayakannya. Pengujian potensi kelayakan desain proyek pembelajaran diujikan kepada 3 Dosen selaku Dosen ahli desain dan 3 Guru IPA MTs selaku ahli materi terhadap desain proyek pembelajaran. Hasil validasi terhadap potensi kelayakan desain proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains dalam perakitan *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### a. Hasil Penilaian Validasi Ahli Desain Terhadap Proyek Pembelajaran

Penilaian validasi ahli desain dilakukan oleh 3 Dosen ahli desain yang merupakan Dosen prodi tadriss IPA, fakultas tarbiyah institut agama islam negeri Kudus dengan mengisi kuisioner penilaian yang terdiri dari 5 aspek, yang meliputi aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains terdiri

dari 5 indikator dengan 10 pertanyaan, aspek potensi implementasi pada pembelajaran terdiri dari 5 indikator dengan 5 pertanyaan, aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran terdiri dari 5 indikator dengan 5 pertanyaan, aspek substansi terdiri dari 8 indikator dengan 8 pertanyaan dan aspek fisik terdiri dari 8 indikator dengan 8 pertanyaan. Hasil validasi dari ahli desain terhadap desain proyek pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5 Hasil Penilaian Validasi Oleh Ahli Desain Terhadap Desain Proyek Pembelajaran**

No	Aspek Penilaian	Presentase Skor	Kriteria
1	Potensi dalam melatih Keterampilan Proses Sains	100%	Sangat tinggi
2	Potensi Implementasi pada pembelajaran	100%	Sangat tinggi
3	Potensi desain sebagai proyek pembelajaran	93,3%	Sangat tinggi
4	Subtansi	100%	Sangat tinggi
5	Fisik	95,8%	Sangat tinggi
<b>Rata-rata</b>		<b>97,82%</b>	Sangat tinggi

Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh hasil validasi dari 3 dosen ahli desain yang telah dirata-ratakan, dengan hasil penilaian pada aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains mendapat presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi, pada aspek potensi Implementasi pembelajaran mendapat presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi, pada aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran mendapat presentasi skor 93,3% dengan kriteria sangat tinggi, Pada aspek substansi mendapat presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi, Pada aspek fisik mendapat presentasi skor 95,8% dengan kriteria sangat baik. Dengan

demikian rata-rata skor yang diperoleh sebesar 97,82% dengan kriteria sangat tinggi.

**b. Hasil Penilaian Validasi Ahli Materi Terhadap Desain Proyek Pembelajaran**

Penilaian validasi ahli materi dilakukan oleh 3 Guru IPA yang terdiri dari 2 Guru IPA MTs Islamiyah Gajihan dan 1 Guru IPA MTs Matholi'ul Falah Kajen Pati, dengan mengisi kuisioner penilaian yang terdiri dari 5 aspek, yang meliputi aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains terdiri dari 5 indikator dengan 10 pertanyaan, aspek potensi implementasi pada pembelajaran terdiri dari 5 indikator dengan 5 pertanyaan, aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran terdiri dari 5 indikator dengan 5 pertanyaan, aspek subtansi terdiri dari 8 indikator dengan 8 pertanyaan dan aspek fisik terdiri dari 8 indikator dengan 8 pertanyaan. Data yang diperoleh dari hasil penilaian ahli materi terhadap desain proyek pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 4.6

**Tabel 4.6 Hasil Penilaian Ahli Materi Terhadap Desain Proyek Pembelajaran**

No	Aspek Penilaian	Presentase Skor	Kategori
1	Potensi dalam melatih Keterampilan Proses Sains	100%	Sangat tinggi
2	Potensi Implementasi pada pembelajaran	100%	Sangat tinggi
3	Potensi desain sebagai proyek pembelajaran	100%	Sangat tinggi
4	Subtansi	100%	Sangat tinggi
5	Fisik	91,6%	Sangat tinggi
<b>Rata-rata</b>		<b>97,82%</b>	<b>Sangat tinggi</b>

Berdasarkan Tabel 4.6 diperoleh hasil validasi dari ahli materi yang telah dirata-ratakan, dengan hasil penilaian pada aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains mendapat presentasi skor

100% dengan kriteria sangat tinggi, pada aspek potensi Implementasi pembelajaran mendapat presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi, pada aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran mendapat presentasi skor 93,3% dengan kriteria sangat tinggi, Pada aspek substansi mendapat presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi, Pada aspek fisik mendapat presentasi skor 95,8% dengan kriteria sangat baik. Dengan demikian rata-rata skor yang diperoleh sebesar 97,82% dengan kriteria sangat tinggi.

Dalam proses validasi terdapat beberapa saran perbaikan dari dosen ahli desain mengenai desain panduan proyek pembelajaran yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 .

**Tabel 4.7 Daftar Perbaikan Panduan Proyek Pembelajaran**

No	Saran Perbaikan	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
1	Tambahkan uji kompetensi, indikator ketercapaian dan tujuan pembelajaran		

<p>2</p>	<p>Tambahkan petunjuk belajar</p>		<div style="border: 1px solid green; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>PETUNJUK BELAJAR</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Buka panduan ini disusun berdasarkan tahapan model pembelajaran team pbl</li> <li>2. Lakukan semua tahapan pembelajaran secara runtut dan sungguh-sungguh</li> <li>3. Dalam proses pembelajaran bagilah kelas dalam beberapa kelompok</li> <li>4. Setiap kelompok berdiskusi dalam menjawab setiap pertanyaan yang terdapat di dalam buku panduan</li> <li>5. Talahlah hasil diskusi pada lembar kerja siswa yang telah disediakan</li> <li>6. Lakukan tugas proyek bersama kelompok masing masing</li> <li>7. Rakhilah proyek pembelajaran menggunakan alat dan bahan yang terdapat dalam kit proyek pembelajaran</li> <li>8. Rakhilah proyek pembelajaran sesuai petunjuk yang terdapat dalam buku panduan</li> <li>9. Lakukan uji coba terhadap proyek yang telah dibuat sesuai petunjuk yang terdapat di dalam buku panduan</li> <li>10. Setiap kelompok mengomentarkan hasil uji coba terhadap proyek yang telah dikerjakan</li> </ol> </div>																								
<p>3</p>	<p>Tambahkan daftar isi</p>		<div style="border: 1px solid green; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>DAFTAR ISI</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Kata pengantar .....</td> <td style="text-align: right;">i</td> </tr> <tr> <td>Daftar Isi .....</td> <td style="text-align: right;">ii</td> </tr> <tr> <td>Uji Kompetensi .....</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Indikator Keterampilan .....</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Tahapan Pembelajaran .....</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Petunjuk Belajar .....</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Refleksi .....</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>Rencana .....</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>Discovery .....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Application .....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Communication .....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Daftar Pustaka .....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> </table> </div>	Kata pengantar .....	i	Daftar Isi .....	ii	Uji Kompetensi .....	1	Indikator Keterampilan .....	1	Tahapan Pembelajaran .....	1	Petunjuk Belajar .....	1	Refleksi .....	2	Rencana .....	7	Discovery .....	10	Application .....	10	Communication .....	10	Daftar Pustaka .....	10
Kata pengantar .....	i																										
Daftar Isi .....	ii																										
Uji Kompetensi .....	1																										
Indikator Keterampilan .....	1																										
Tahapan Pembelajaran .....	1																										
Petunjuk Belajar .....	1																										
Refleksi .....	2																										
Rencana .....	7																										
Discovery .....	10																										
Application .....	10																										
Communication .....	10																										
Daftar Pustaka .....	10																										
<p>4</p>	<p>Tambahkan gambar alat yang digunakan dalam mengukur kualitas air berdasarkan beberapa parameternya</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>REVISI</b></p> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>Yuk kenali ciri-ciri air tercemar !!</b></p> <p>Air yang tercemar dapat kamu ketahui dengan melihat beberapa perubahan yang terjadi pada air tersebut. perubahan tersebut dibedakan menjadi 3 yaitu :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Perubahan Fisika</b> Perubahan secara fisika pada air yang tercemar dapat ditandai berdasarkan sifatnya, seperti bau, perubahan warna, bau dan rasa yang dapat diketahui melalui indra manusia.</li> <li>• <b>Perubahan Kimia</b> Perubahan secara kimia pada air yang tercemar dapat diketahui melalui alat kimia yang terdapat yang dapat diketahui menggunakan alat TDS EC, serta dapat diketahui melalui perubahan pH (tingkat keasaman air) yang dapat diukur dengan menggunakan alat pH tester.</li> <li>• <b>Perubahan Biologi</b> Perubahan secara biologi pada air yang tercemar dapat diketahui melalui berdasarkan mikroorganisme yang ada dalam air yang dapat diketahui melalui alat mikroskopis.</li> </ul> </div>	<div style="border: 1px solid green; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>REVISI</b></p> <p style="text-align: center; background-color: #4CAF50; color: white; margin: 0;"><b>Yuk kenali ciri-ciri air tercemar !!</b></p> <p>Air yang tercemar dapat kamu ketahui dengan melihat beberapa perubahan yang terjadi pada air tersebut. perubahan tersebut dibedakan menjadi 3 yaitu :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Perubahan Fisika</b> Perubahan secara fisika pada air yang tercemar dapat ditandai berdasarkan sifatnya, seperti bau, perubahan warna, bau dan rasa yang dapat diketahui melalui indra manusia.</li> <li>• <b>Perubahan Kimia</b> Perubahan secara kimia pada air yang tercemar dapat diketahui melalui alat kimia, terdapat yang dapat diketahui menggunakan alat TDS EC, serta dapat diketahui melalui perubahan pH (tingkat keasaman air) yang dapat diukur dengan menggunakan alat pH tester.</li> <li>• <b>Perubahan Biologi</b> Perubahan secara biologi pada air yang tercemar dapat diketahui melalui adanya mikroorganisme yang terdapat dalam air yang dapat diketahui melalui mikroskopis.</li> </ul> </div>																								

<p>5</p> <p>Berikan contoh metode pengolahan air secara konvensional dan moderen yang mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari</p>		<p><b>Teknologi pengolahan air II</b></p> <p>terdapat beberapa teknologi pengolahan air yang digunakan untuk memperoleh kadar polutan yang terdapat pada air permukaan, di antaranya adalah sebagai berikut:</p> <p><b>ULTRA FILTRASI</b></p> <p>Ultra Filtrasi merupakan salah satu metode pengolahan air secara moderen yang dapat digunakan untuk memperoleh air bersih sesuai standar.</p> <p><b>MEMBRAN REVERSE OSMOSIS (MRO)</b></p> <p>Membran Reverse Osmosis merupakan salah satu metode pengolahan air yang moderen yang dapat digunakan untuk memperoleh air bersih sesuai standar.</p> <p><b>NANO FILTRASI</b></p> <p>Nano Filtrasi merupakan salah satu metode pengolahan air secara moderen yang dapat digunakan untuk memperoleh air yang berkualitas sesuai standar dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan.</p>	<p><b>Metode dan teknik pengolahan air II</b></p> <p>Ada beberapa metode yang sangat penting bagi manusia, salah satunya dengan menggunakan membran untuk memisahkan antara air dengan polutan, garam, dan zat-zat lainnya. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memperoleh air bersih, salah satunya adalah dengan menggunakan membran.</p> <p><b>Beberapa contoh metode atau teknik pengolahan air yang mungkin pernah kalian lihat adalah sebagai berikut:</b></p> <p><b>1. MEMBRAN REVERSE OSMOSIS (MRO)</b></p> <p>Membran Reverse Osmosis merupakan salah satu metode pengolahan air yang moderen yang dapat digunakan untuk memperoleh air bersih sesuai standar.</p> <p><b>2. MEMBRAN REVERSE OSMOSIS (MRO)</b></p> <p>Membran Reverse Osmosis merupakan salah satu metode pengolahan air yang moderen yang dapat digunakan untuk memperoleh air bersih sesuai standar.</p>
---	--	---	---

**B. Potensi Kelayakan Desain Proyek Pembelajaran Berorientasi Keterampilan Proses Sains dalam Perakitan *Constructed Wetland* untuk Fitoremediasi Limbah Domestik**

Kelayakan desain proyek pembelajaran pada penelitian ini ditinjau dari hasil penilaian validasi yang dilakukan oleh 3 Dosen selaku ahli desain dan 3 Guru IPA selaku ahli materi . Kelayakan desain proyek pembelajaran dinilai atas beberapa aspek yaitu aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains, aspek potensi implementasi pada pembelajaran, aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran, aspek substansi dan aspek fisik. Dari penilaian yang dilakukan oleh validator dan responden terhadap desain proyek pembelajaran berorientasi keterampilan proses sains dalam perakitan *constructed wetland* untuk fitoremediasi limbah domestik, desain proyek pembelajaran dapat dinyatakan layak dengan kriteria sangat tinggi. Adapun hasil dari penilaian setiap aspek kelayakan desain proyek pembelajaran dapat dijelaskan sebagai berikut.

**2. Aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains**

Aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains berkaitan dengan potensi desain proyek pembelajaran dalam melatih keterampilan proses sains. Dalam hal ini proyek pembelajaran yang didesain merupakan desain *constructed wetland* untuk fitoremediasi

limbah domestik. Yang mana dalam proses perakitan proyek terdapat langkah-langkah yang berpotensi dalam melatih keterampilan proses sains. Adapun keterampilan proses sains yang terdapat dalam proses perakitan proyek constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik meliputi keterampilan observasi, keterampilan mengklasifikasikan, keterampilan mengukur, keterampilan membandingkan dan keterampilan mengkomunikasikan. Hasil penilaian validasi dari aspek potensi dalam melatih keterampilan proses sains yang dilakukan oleh 3 Dosen selaku ahli desain dan 3 Guru IPA selaku ahli materi didapatkan skor rata-rata dengan presentasi sekur 100% dengan kriteria sangat tinggi. Artinya desain proyek pembelajaran yang dibuat dapat berpotensi dalam melatih keterampilan proses sains pada siswa. Hal juga didukung oleh pendapat Colley dan Kabba (2008), menurutnya pembelajaran proyek dapat membantu meningkatkan pemahaman konsep sains siswa. Selain itu, pembelajaran yang menekankan pada pemberian proyek dapat meningkatkan berbagai keterampilan siswa.<sup>15</sup>

### 3. Aspek potensi implementasi dalam pembelajaran

Aspek potensi implementasi dalam pembelajaran berkaitan dengan potensi desain proyek pembelajaran untuk diimplementasikan dalam proses pembelajaran. Dalam hal ini agar proyek pembelajaran dapat digunakan dalam kegiatan pembelajaran maka disusun pada sebuah panduan proyek. Yang mana panduan proyek mengacu pada materi pencemaran lingkungan, sub materi pencemaran air untuk siswa SMP/MTs kelas 7. Selain itu panduan proyek juga disusun berdasarkan tahapan model pembelajaran STEM PJBL yang meliputi tahap *reflectio*, *reasearc*, *discovery*, *aplication* dan *comunication*<sup>16</sup>. Hasil penilaian dari aspek potensi untuk diimplementasikan dalam pembelajaran yang dilakukan oleh 3 Dosen selaku ahli desain dan 3

---

<sup>15</sup> Siswanto, "Scientific Project Learning: Bagaimana Model Pembelajaran Tersebut Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Dan Motivasi Siswa Terhadap Materi Fisika?"

<sup>16</sup> Fitriyani, Toto, and Erlin, "Implementasi Model Pjbl-Stem Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi."

Guru IPA MTs selaku ahli materi didapatkan skor rata-rata dengan presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi. Artinya desain proyek pembelajaran yang dibuat berpotensi dapat diimplementasikan dalam pembelajaran

#### 4. Potensi desain sebagai proyek pembelajaran

Aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran berkaitan dengan potensi kegunaan desain proyek yang telah dirancang sebagai proyek pembelajaran. Dalam hal ini desain proyek yang dibuat merupakan desain constructed wetland untuk fitoremediasi limbah domestik. Yang mana proyek tersebut mengacu pada materi pembelajaran pencemaran lingkungan sub materi pencemaran air untuk pembelajaran SMP/MTs kelas 7. Selain itu proyek pembelajaran yang dirancang telah disesuaikan dengan kriteria proyek yang digunakan dalam pembelajaran berbasis proyek. Adapun kriteria sebuah proyek dapat dikatakan sebagai sebagai proyek pembelajaran harus memenuhi beberapa aspek yang meliputi keterpusatan (*centrality*), berfokus pada pertanyaan atau masalah, investigasi konstruktif otonomi dan realistik.<sup>17</sup> Penilaian potensi desain sebagai proyek pembelajaran di dasarkan pada 5 aspek kriteria proyek pembelajaran yang telah disebutkan. Hasil penilaian dari aspek potensi desain sebagai proyek pembelajaran yang dilakukan oleh 3 Dosen selaku ahli desain dan 3 Guru IPA MTs selaku ahli materi, terdapat penilaian dari 1 dosen ahli desain yang menyatakan bahwa desain proyek pembelajaran tidak berpotensi sebagai pusat atau inti dalam pembelajaran, sehingga didapatkan skor rata-rata dengan presentasi skor 96,65%. Walaupun demikian desain proyek pembelajaran yang dibuat masih berpotensi sebagai proyek pembelajaran dengan kriteria sangat tinggi.

#### 5. Aspek substansi

Aspek substansi dalam hal ini yaitu substansi yang terdapat dalam desain proyek yang dirancang terdiri atas aspek konten dan aspek komunikasi. Yang mana aspek konten berkaitan pada kesesuaian konten panduan proyek

---

<sup>17</sup> Sofya, "Implementasi Pembelajaran Berbasis Proyek Pada Bidang Kejuruan."

pembelajaran dengan materi pembelajaran, kesesuaian desain proyek pembelajaran dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, kecukupan materi yang terdapat dalam desain proyek pembelajaran dan kecukupan referensi yang terdapat dalam desain proyek pembelajaran. Sedangkan aspek komunikasi berkaitan dengan kejelasan bahasa dalam panduan proyek pembelajaran, interaksi antar siswa dalam mengerjakan proyek, proyek pembelajaran dapat memotivasi siswa dan kesesuaian dengan kondisi/tingkat pemahaman siswa. Sudjana dan Rivai (1992) mengemukakan beberapa tujuan dalam bahan ajar/media yang digunakan dalam proses pembelajaran, adapun tujuan tersebut yaitu, dapat menumbuhkan motivasi belajar siswa karena pengajaran akan lebih menarik perhatian mereka, makna bahan pengajaran akan menjadi lebih jelas sehingga dapat dipahami siswa dan memungkinkan terjadinya penguasaan serta pencapaian tujuan pengajaran, metode mengajar akan lebih bervariasi, tidak semata-mata didasarkan atas komunikasi verbal melalui kata-kata; dan siswa lebih banyak melakukan aktivitas selama kegiatan belajar, tidak hanya mendengarkan tetapi juga mengamati, mendemonstrasikan, melakukan langsung, dan memerankan.<sup>18</sup> Hasil penilaian validasi desain proyek pembelajaran mengenai aspek substansi oleh 3 dosen ahli desain dan 3 Guru IPA selaku ahli materi didapatkan skor rata-rata dengan presentasi skor 100% dengan kriteria sangat tinggi.

#### 6. Aspek fisik

Aspek fisik dalam hal ini berkaitan dengan ketahanan desain proyek pembelajaran, Keamanan desain proyek pembelajaran, kepraktisan proyek pembelajaran dan bentuk proyek pembelajaran. Salah satu kriteria yang perlu diperhatikan dalam membuat media pembelajaran ialah kualitas dari media pembelajaran tersebut. Media pembelajaran harus dibuat dengan mutu dan kualitas yang baik sehingga bisa tahan lama dan tidak mudah rusak dan

---

<sup>18</sup> Tejo Nurseto, "Membuat Media Pembelajaran Yang Menarik," *Jurnal Ekonomi dan Pendidikan* 8, no. 1 (2012): 19–35.

dapat digunakan untuk proses pembelajaran pada waktu berikutnya. Dengan kualitas media pembelajaran yang baik maka dapat memberikan hasil yang baik dalam proses pembelajaran.<sup>19</sup> Hasil penilaian validasi desain proyek pembelajaran ditinjau dari aspek fisik, yang dilakukan oleh 3 dosen ahli desain dan 3 Guru IPA selaku ahli materi, terdapat 2 Guru IPA selaku ahli materi yang memberikan penilaian bahwa desain proyek pembelajaran tidak dapat digunakan berulang kali dan desain proyek pembelajaran sulit untuk dirangkai sehingga didapatkan skor rata-rata dengan presentasi skor 93,7 % . Walaupun demikian desain proyek pembelajaran ditinjau dari aspek fisik memiliki potensi kelayakan dengan kriteria sangat tinggi.



---

<sup>19</sup> Teni Nurrita, “Pengembangan Media Pembelajaran Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa,” *Jurnal misykat* 03, no. 01 (2018): 171.