

TRANSFORMASI FUTURE SUSTAINABLE SANITER BERBASIS WETLAND CONSTRUCTION BAGI SLUM AREA DI KAWASAN PONDOK PESANTREN SIDOGIRI PASURUAN

M. Khanif Badruz Z.¹, Rani Destia W.², Reza Kurniawan³, Siti Asiyah⁴

¹Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

² Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

³ Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

⁴Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

¹m.khanif.2005216@students.um.ac.id, ²rani.destia.2004326@students.um.ac.id,

³reza.kurniawan.2204326@students.um.ac.id,

⁴siti.asiyah.2304316@students.um.ac.id

ABSTRAK

Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan merupakan sebuah kawasan pendidikan non formal yang terletak di Desa Sidogiri, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan. Kehidupan di Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan umumnya masih bergantung pada *natural resources* karena jauhnya akses dari perkotaan dan keterbatasan lahan di wilayah tersebut. Dalam konteks *behavior*, penghuni pesantren umumnya memiliki perilaku yang kurang sadar terhadap pentingnya sanitasi dan lingkungan. Hal tersebut diperparah dengan kepadatan penduduk yang tinggal di area pesantren sehingga menimbulkan limbah rumah tangga berlebih. Permasalahan tersebut berimbas pada pencemaran air DAS Welang yang selama ini digunakan oleh penghuni pesantren sebagai tempat untuk minum, mandi, mencuci, membuang limbah, dan membuang kotoran. Pencemaran yang terjadi berupa berubahnya warna air sungai, munculnya bau yang tidak sedap, hingga banjir saat musim penghujan. Sebagian air yang dialirkan untuk minum pun bersifat tidak layak konsumsi sehingga berisiko membahayakan masyarakat. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan solusi permasalahan yang dihadapi oleh Pondok Pesantren Sidogiri melalui teknologi saniter *wetland construction* dalam pemulihan ekosistem DAS Welang. Metode yang digunakan merupakan *research and development* dengan metode *Analysis, Design, Develop, Implement, dan Evaluate* (ADDIE). Tahap Analisis dilakukan dengan menganalisis kebutuhan dan kondisi aktual Pondok Pesantren Sidogiri. Tahap *Design* dilakukan dengan membuat rancangan *Wetland Construction* yang memungkinkan air mengalir melalui berbagai lapisan media untuk menyaring dan membersihkan air dari zat-zat pencemar. Tahap *Develop, Wetland construction* dikembangkan menjadi media *future sustainable saniter* sehingga mampu mengembalikan kualitas air DAS Welang. Tahap *Implement* dilakukan dengan menerapkan hasil *design* dan *develop* pada lokasi. Terakhir, Tahap *Evaluate* dilakukan untuk mengatasi *error* dan improvisasi teknologi. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah perubahan *slum area* Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan menjadi kawasan yang sadar sanitasi dengan adanya penerapan teknologi saniter yang berkelanjutan dan pemberdayaan santri. Dalam jangka panjang, air sungai diharapkan menjadi lebih

bersih dan sehat bagi masyarakat maupun lingkungan.

Kata Kunci: *Wetland, Slum Area, Sustainable Saniter*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bagaikan filosofi Bali yang berbunyi “*manik ring cipupu*”, bagaikan sebuah janin yang berada dalam kandungan ibunya. Jika ingin kehidupan yang harmonis dan selaras maka kandungan harus dirawat dan dijaga sepenuh hati sehingga sang “janin” dapat memiliki kehidupan yang tentram dan sejahtera (Shafina, 2023). Filosofi tersebut menggambarkan bahwa sejatinya manusia (*bhuana alit*) harus menjaga keseimbangan dan kelestarian alam (*bhuana agung*) agar tercipta sebuah tempat yang harmonis dan indah bagi pertumbuhan dan perkembangan manusia. Sejalan dengan filosofi tersebut, “Tri Hita Karana” mensyaratkan kebahagiaan atau kesejahteraan akan tercapai jika terjadi keharmonisan dalam 3 aspek. Salah satu aspek dari Tri Hita Karana yaitu “*Palemahan*” yang menggambarkan hubungan manusia dengan alam. Keharmonisan dan keselarasan akan terciptaketika manusia dapat merawat dan menjaga alam dengan baik sehingga alam akan memberikan timbal balik dengan balik yang positif terhadap manusia (Parmajaya, 2018).

Penerapan filosofi Palemahan tidak hanya penting dan relevan dalam konteks lingkungan alam, tetapi juga dalam dunia pendidikan, baik formal maupun non-formal. Palemahan mengajarkan pentingnya hubungan manusia dengan alam dan bagaimana keseimbangan ini mendukung kehidupan yang harmonis. Baik dalam pendidikan formal maupun informal, konsep palemahan dapat diintegrasikan ke dalam kehidupan sehari-hari untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan. Terlebih dalam pendidikan nonformal, palemahan dapat diajarkan sebagai nilai-nilai moral yang mendasar yang memberikan pemahaman tentang tanggung jawab mereka terhadap lingkungan sekitar dan bagaimana hal tersebut berkaitan dengan kesejahteraan.

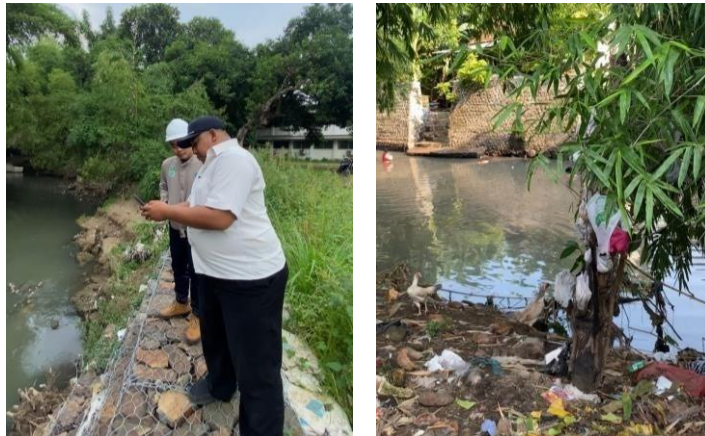
Berbanding terbalik dengan konsep tersebut, globalisasi dan modernisasi menimbulkan beberapa ancaman terhadap kualitas air. Eksploitasi berlebihan terhadap air tanah, penataan ulang sungai, dan kepemilikan pribadi atas sumber air milik umum, dan karakter masyarakat yang tidak sadar dalam menjaga

lingkungan merupakan ancaman yang sering terjadi dalam masyarakat. *Infrastructure Processing Unit* (IPU) selalu berusaha memfasilitasi pengelolaan air berkelanjutan di parlemen melalui Roundtable on Water dan Dengar Pendapat Parlemen tahun 2023 dalam forum Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB). Dalam menindaklanjuti komitmen dan resolusi pengelolaan sistem tata kelola air berkelanjutan, DPR RI dan IPU bersama-sama mengadakan *Parliamentary Meeting on the Occasion of the 10th World Water Forum* yang akan diselenggarakan pada 19-22 Mei 2024 di Bali, Indonesia. Langkah tersebut merupakan salah satu upaya pemerintah Indonesia dalam mewujudkan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan di Indonesia.

Menurut Badan Pusat Statistik (2023), pencemaran sungai terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia pada tahun 2022. Dari 111 yang dilakukan identifikasi hanya 8,1 % sungai yang memenuhi baku mutu atau yang memiliki kualitas yang baik. Sedangkan sisanya sebanyak 91,9 % sudah terjadi pencemaran sungai dengan tingkat pencemaran ringan dan sedang. Pencemaran tersebut dapat menyebabkan turunnya kualitas air yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti limbah domestik, industri, pertanian, peternakan, dan perikanan (Anam, 2022). Penurunan kualitas air tersebut disebabkan oleh banyaknya limbah yang masuk kedalam sungai dan diperburuk dengan sistem sanitasi yang tidak baik serta kebiasaan masyarakat yang membuang sampah ke sungai (Global Waters, 2021). Salah satu sungai yang terjadi pencemaran yaitu terjadi pada Sungai Welang, Jawa Timur yang dimanfaatkan Pondok Pesantren Sidogiri, Pasuruan (Faradiba, 2023).

Pondok Pesantren Sidogiri merupakan sebuah lembaga pendidikan non formal yang terletak pada kawasan RT.02 RW.02, Desa Sidogiri, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan. Pondok pesantren Sidogiri merupakan salah satu pondok pesantren tertua di Indonesia yang telah berdiri sejak tahun 1745 dan memiliki jumlah santri yang terus meningkat setiap tahunnya. Pondok Pesantren sidogiri menjadi sebuah kawasan padat penduduk yang menjalankan kegiatan produksi dan konsumsi setiap harinya dengan jumlah santri yang terus meningkat. Pondok Pesantren Sidogiri sendiri dekat dengan DAS Welang yang juga digunakan sebagai sarana untuk mandi, mencuci, hingga minum bagi penduduk pesantren.

Meskipun begitu, beberapa permasalahan terjadi di Pondok Pesantren Sidogiri seiring dengan pertumbuhan penduduk. Permasalahan yang paling krusial diantaranya merupakan bencana banjir, wabah demam berdarah, dan diare. Berbagai kondisi tersebut terjadi akibat kurangnya kelayakan air dari DAS Welang yang digunakan oleh santri. DAS Welang umumnya memiliki grey water yang terkontaminasi dengan sampah akibat pembuangan limbah rumah tangga.



Gambar 1.1 Kondisi Eksisting DAS Welang

Perilaku penghuni pesantren yang kurang menjaga lingkungan seperti kebiasaan membuang sampah rumah tangga di DAS Welang menjadi penyebab fenomena tersebut. Para penghuni pesantren masih kurang sadar akan pentingnya sanitasi yang baik. Selain itu, tidak terdapat teknologi yang diimplementasikan oleh penghuni pesantren untuk mengatasi dampak yang terjadi akibat adanya pencemaran tersebut. Padahal, untuk mewujudkan ekosistem masyarakat yang berkelanjutan, dibutuhkan kesadaran dan penerapan ilmu pengetahuan untuk mengatasi masalah lingkungan.

Dalam upaya mengatasi permasalahan limbah domestik yang terjadi pada Sungai Welang maka dibutuhkan sistem sanitasi yang tepat guna dan sekaligus dapat memberdayakan para santri. *Sub-Surface Wetland Construction* dengan *Horizontal Flow System* muncul sebagai solusi potensial yang berbasis lingkungan. Keunggulan dari *Wetland Construction* dibandingkan dengan fasilitas pengolahan limbah konvensional lainnya yaitu hanya membutuhkan biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan yang lebih terjangkau dan murah. Selain itu *Wetland Construction* memiliki kemampuan dalam efisiensi *Total Suspended Solids* (TSS) hingga mencapai 97 % dan tidak menimbulkan bau. *Wetland*

Construction menggunakan beberapa media yaitu tanah, pasir atau kerikil yang ditanam dengan vegetasi tanaman. Air limbah nantinya akan dialirkan dibawah permukaan media tanam sehingga adanya resiko terkena paparan manusia dan organisme patogen dapat diminimalisasi. Vegetasi tanaman yang akan dipakai yaitu Tumbuhan Kana (*Canna Indica*) yang memiliki nilai estetika dan mudah dalam perawatannya. Proses pengolahan limbah yang akan terjadi dalam *Wetland Construction* yaitu nitrifikasi, denitrifikasi, volatilisasi, adsorpsi, sedimentasi, filtrasi, dan degradasi baik secara biotik maupun abiotik. Sistem sanitasi *Constructed Wetland* selain dapat mengatasi permasalahan limbah domestik juga dapat memberikan nilai estetika dalam konstruksinya dengan melakukan tanaman yang indah dan menyegarkan mata (Husnabilah, 2008).

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah yang ditentukan dalam penelitian ini :

1. Bagaimana penerapan teknologi dalam pengolahan *grey water* di Pondok Pesantren Sidogiri?
2. Bagaimana implementasi teknologi *Wetland Construction* untuk mengatasi *slum area* di Kawasan Pondok Pesantren Sidogiri?
3. Bagaimana pemberdayaan santri yang terjadi dalam mengatasi *slum area* dan meningkatkan air bersih di Kawasan Pondok Pesantren Sidogiri?

1.3 Fokus Penelitian

Fokus dari penelitian ini di maksudkan untuk memberikan batasan terkait pembatasan masalah dan objek penelitian agar data yang di dapat dalam penelitian ini sesuai dan rasional terhadap permasalahan yang di bahas dalam penelitian. Memutuskan fokus penelitian merupakan hal yang penting karena dapat mencegah adanya pembiasan atas pembahasan atau persiapan masalah penelitian. Oleh sebab itu fokus dari penelitian ini adalah :

1. Upaya mengatasi permasalahan limbah domestik yang terjadi pada Sungai Welang.
2. implementasi teknologi *Wetland Construction* untuk mengatasi *slum area*.
3. pemberdayaan santri dalam upaya pengolahan *grey water* dan mengatasi *slum area*.

1.4 Tujuan Penelitian

Selaras dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan, berikut merupakan tujuan penelitian :

1. Menemukan langkah penerapan teknologi dalam pengolahan grey water di Pondok Pesantren Sidogiri.
2. Menemukan langkah implementasi teknologi constructed wetland untuk mengatasi slum area di Kawasan Pondok Pesantren Sidogiri.
3. Menemukan upaya pemberdayaan santri yang terjadi dalam mengatasi slum area dan meningkatkan air bersih di Kawasan Pondok Pesantren Sidogiri.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai rekomendasi percontohan bagi daerah lainnya yang mengalami daerah serupa untuk diterapkan constructed wetland yang dapat mengatasi kekurangan air bersih.
2. Bagi Pondok Pesantren Sidogiri, penelitian ini dapat menjadi motivasi untuk meningkatkan kesadaran akan sanitasi, menjaga kesehatan, dan merawat kebersihan yang dilakukan di area pesantren.
3. Bagi Akademisi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan inspirasi bagi penelitian selanjutnya mengenai constructed wetland dan menjadi pemicu inovasi-inovasi baru di slum area yang lekat kaitannya dengan sungai.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian Spieles (2022) dengan judul “Wetland construction, restoration, and integration: A comparative review” membahas mengenai *constructed wetland* yang dirancang untuk mengolah berbagai jenis air limbah menggunakan sistem pengolahan permukaan, bawah permukaan, atau hibrida. Meskipun dirancang dalam parameter hidrologi yang sempit, *constructed wetland* dapat sangat efektif dalam transformasi, remediasi, dan sekuestrasi kontaminan.
2. Penelitian Nyssa et al. (2021) dengan judul “Sustainable Construction of Wetland Stilt House in Indonesia” membahas mengenai Rumah panggung sebagai salah satu arsitektur tradisional Indonesia yang terkenal karena kemampuannya bertahan di lingkungan lahan basah sejak zaman dahulu. Dari setiap daerah lahan basah, ditemukan bahwa rumah panggung menggunakan beberapa jenis konstruksi. Rumah panggung dengan pondasi pedestal menggunakan jenis pilar kaku yang disebut pilar lanjutan. Sebaliknya, rumah panggung dengan pondasi tiang menggunakan jenis pilar yang lebih fleksibel. Pilihan jenis pilar dan pondasi yang sesuai dengan konteks lahan basah dapat membuat daya tahan rumah panggung bertahan lebih lama. Ini adalah salah satu bukti bahwa pengetahuan lokal ternyata membawa nilai-nilai keberlanjutan yang dapat membuat mereka bertahan dalam waktu yang lama.
3. Penelitian Herawati et al. (2018) dengan judul “Water table evaluation post the construction of canal blocks on peatland in West Kalimantan, Indonesia“. Dalam penelitian ini, keberadaan jaringan kanal mempengaruhi fungsi hidrologis ekosistem gambut di Kalimantan Barat yang menyebabkan kekeringan dan kebakaran lahan gambut selama musim kemarau. Jaringan kanal di lahan gambut menyebabkan air yang sebelumnya tergenang mudah mengalir keluar melalui kanal. Oleh karena itu, diperlukan upaya represif untuk menjaga muka air di lahan gambut. Salah satu tindakan yang telah diterapkan untuk merestorasi gambut adalah dengan membangun blok kanal pada kanal yang sudah ada. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai dan mengevaluasi perubahan muka air di lahan gambut setelah pembangunan blok

kanal di Desa Wajok Hilir, Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat. Berdasarkan hasil evaluasi muka air di lahan gambut dengan dan tanpa blok kanal, teridentifikasi bahwa lahan gambut di sekitar blok kanal memiliki fluktuasi muka air yang lebih kecil dibandingkan dengan lahan gambut di sekitar kanal tanpa blok selama satu periode pasang surut. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pembangunan blok kanal membantu mempertahankan air lebih lama di lahan gambut sehingga muka air dapat dipertahankan dalam jangka pendek dan diharapkan dapat memulihkan fungsi hidrologis lahan gambut dalam jangka panjang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tri Hita Karana

Tri Hita Karana merupakan salah satu prinsip yang sering dipakai oleh masyarakat hindu. Tri Hita Karana secara etimologi terbentuk dari kata : tri yang bermakna tiga, hita berarti kebahagiaan, dan karana yang memiliki arti sebab atau yang menyebabkan. Jadi, tri hita karana dapat diartikan sebagai tiga hubungan harmonis yang dapat menjadi sebab adanya sebuah kebahagiaan.(DiahYuniti et al., 2022). Filosofi Tri Hita Karana memberikan makna bahwa terdapat tiga hubungan harmonis yang menjadi sebab sebuah kebahagiaan, dimana tiga hubungan tersebut merupakan hubungan antara Tuhan, Manusia, dan Alam. konsep Tri Hita Karana secara harfiah merupakan tiga hubungan yang dilakukan oleh manusia dalam menciptakan keharmonisan dan keselarasan, yakni akhlak terhadap Tuhan (parahyangan), akhlak terhadap manusia (pawongan) dan akhlak terhadap lingkungan alam sekitar (palemahan) (Seriadi, 2022).

Pada penelitian ini sendiri Tri Hita Karana yang di gunakan adalah aspek palemahan, secara mendasar palemahan memiliki makna lingkungan dimanasecara garis besar bermakna sebagai tempat manusia tinggal dan berkembang, termasuk yang memberikan sumber makan yang mendukung hidup. Aspek palemahan yang bermakna hubungan dan etika manusia terhadap alam. Dalam hal ini manusia bukan hanya memanfaatkan alam, tapi juga menjaganya. Dalam menjaga alam, tidak hanya melalui ekosentrisme, melainkan juga meliputi biosentrisme yang meliputi etika terhadap makhluk tak hidup ataupun makhluk hidup seperti gunung, air, tanah dan lain sebagainya. Menjaga kebersihan lingkungan sekitar merupakan salah satu langkah untuk menjalin keharmonisan dengan alam. sebab aktivitas manusia

merupakan suatu hal yang menjadipenyumbang kerusakan alam cukup besar yang terjadi saat ini . oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya bencana berkelanjutan, maka manusia juga harus menjaga dan melestarikan alam (Diah Yuniti et al., 2022).

2.2.2 Slum Area

Slum area atau pemukiman kumuh merupakan daerah yang mengalami penurunan kualitas lingkungan pada berbagai aspek, baik dari segi bentuk tatanan pemukimannya, ekonomi, sosial, atupun budaya. Secara umum pemukiman kumuh ditempati oleh masyarakat dengan kesejahteraan rendah dan kondisi lingkungan yang dimiliki tercemar. Berdasarkan UU Nomor 1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman dijelaskan bahwa “Permukiman kumuh adalah permukiman yang tidak layak huni karena ketidakteraturan bangunan, tingkat kepadatan bangunan yang tinggi, dan kualitas bangunan serta sarana dan prasarana yang tidak memenuhi syarat, sedangkan Perumahan Kumuh merupakan perumahan yang mengalami degradasi kualitas fungsi dari suatu tempat hunian” (UU 1 Tahun 2011_Permukiman, n.d.).

Sedangkan menurut pendapat lain permukiman kumuh adalah permukiman dengan kondisi tempat tinggal dikawasan yang tidak layak, Kepadatan bangunan tinggi, kebutuhan sarana air bersih yang kurang memadai, sanitasi dan sarana jalan yang buruk, ruang terbuka yang hampir tidak ada, serta kelengkapan sarana sosial yang tidak mendukung (Fitri, 2021).

Pendapat yang ada tersebut di dukung dengan adanya hasil penelitian Nursyahbani & Pigawati (2015) yang mencirikan permukiman kumuh sebagai permukiman yang memiliki kualitas bangunan tidak layak huni dan kumuh, kepadatan bangunan tinggi dan memiliki ruang terbuka yang sedikit, legalitas kepemilikan lahan tidak terjamin, didominasi oleh penduduk pendatang, kurang atau bahkan tidak terlayani oleh sarana air bersih dan pengelolaan air limbah, dan penduduk yang berpendukhuni memiliki penghasilan sangat rendah (Pigawati, 2015).

2.2.3 Wetland Construction (CW)

Construction Wetland atau lahan basah buatan adalah sistem rekayasa terkontrol pengolahan air limbah yang didesain menggunakan vegetasi alami. Sistem Pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh

pembuatnya. Constructed Wetland memiliki dua tipe sistem aliran yaitu sistem aliran permukaan atau *Free Water System Constructed Wetland* (FWS) dan sistem aliran bawah permukaan atau (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*). Kedua sistem tersebut tentunya memiliki karakteristik yang berbeda yang akan memberikan hasil yang berbeda juga. Pada sistem aliran permukaan, air mengalir secara bebas pada permukaan air yang terbuka yang dapat menyebabkan sarang vektor penyakit seperti nyamuk dan umumnya juga menimbulkan bau yang kurang sedap sehingga sistem aliran permukaan ini pada praktiknya jarang untuk digunakan oleh masyarakat. Sistem aliran bawah umumnya banyak digunakan oleh masyarakat yang disebabkan oleh air limbah akan dialirkan di bawah permukaan media tanam yang dapat meminimalkan resiko terkena paparan manusia atau organisme patogen, sistem ini juga sangat sesuai dengan pengolahan primer dari air limbah yang disebabkan tidak adanya kontak secara langsung dengan kolom air dan atmosfer (Adi Buldan Rayaganda Rito, 2017).

Dalam aliran bawah terbagi menjadi dua pola alirannya yaitu *Vertikal Flow System* dan *Horizontal Flow System*. Pada sistem aliran vertikal pengaliran air disalurkan dengan sistem batch, air limbah akan mengalir dari atas ke bawah dengan melewati area akar dan keluar dari dasar media. Sistem aliran vertikal ini memiliki kelebihan dan kekurangan, kelebihan yaitu sistem ini sangat baik digunakan untuk proses nitrifikasi dikarenakan memiliki kemampuan transfer oksigen, penyisihan BOD, dan COD yang tinggi. Kemudian Kekurangan dari sistem ini yaitu kurang baik dalam penyisihan partikel tersuspensi, jika pemilihan media dilakukan tidak tepat akan menyebabkan penyumbatan. Pada sistem aliran horizontal, air limbah dialirkan secara horizontal di bawah tanaman di media lapisan paling atas. Tanaman tersebut mempunyai peran untuk mengadsorpsi oksigen dengan menggunakan media daun dan batang. Oksigen yang terserap akan ditransfer ke akar dan *Aerobic microsities* yang terdapat pada akar akan berperan proses aerobik pada mikroorganisme. Sistem aliran horizontal ini memiliki kelebihan dan kekurangan, kelebihan dari sistem ini yaitu tidak terdapat genangan air yang menyebabkan bau tidak sedap dan tempat berkembangbiak nyamuk. Kemudian sistem ini memiliki kemampuan yang baik dalam penyisihan partikel yang tersuspensi dikarenakan kemampuan dalam menyaring dan penyisihan BOD. Kekurangan dari sistem horizontal ini yaitu tidak baik dalam proses nitrifikasi karena kemampuan dalam transfer oksigen yang terbatas dan biasanya

menimbulkan aliran pendek yang menurunkan efisiensi pengolahan. Maka dari itu sistem horizontal kurang cocok dalam pengolahan air limbah yang memiliki suspended solid yang tinggi (ElZein et al., 2016).

BAB III METODE

1.1 Jenis Penelitian

Pendekatan Research and Development (RnD) digunakan dalam penelitian ini, dimana produk yang dirancang merupakan sustainable saniter berupa wetland construction. RnD merupakan suatu langkah yang digunakan untuk menciptakan produk baru atau untuk meningkatkan dan memperbaiki produk yang sudah ada. Adapun metode yang digunakan merupakan metode deskriptif, yakni metode yang digunakan untuk menguraikan keadaan yang sedang terjadi dengan tujuan untuk memberikan gambaran tentang keadaan yang sebenarnya (Okpatrioka Okpatrioka, 2023). Adanya pendekatan R&D memungkinkan adanya analisis kebutuhan subjek dalam penelitian, yakni santri Pondok Pesantren Sidogiri dan analisis kinerja wetland secara berkelanjutan.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pondok Pesantren Sidogiri, yang terletak di Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Pondok Pesantren Sidogiri merupakan salah satu pondok pesantren tertua dan terbesar di Indonesia.

3.3. Informan Penelitian

Informan penelitian ini merupakan 5 santri Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan, 2 pengurus Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan, 5 warga setempat, dan pengurus DAS Welang.

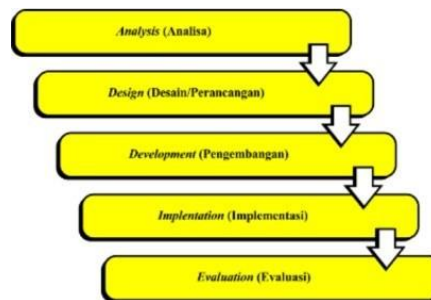
3.4. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan teknik wawancara mendalam, dokumentasi, dan observasi untuk memetakan masalah. Instrumen yang digunakan merupakan pedoman wawancara dan kuesioner.

3.5. Analisis Data

Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE yang diperkenalkan oleh (William W. Lee, 2004). Terdapat lima tahapan dalam model pengembangan ADDIE, yakni *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Prosedur pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan tahap analisis, dimana peneliti meninjau berbagai permasalahan terkait dengan sanitasi yang terjadi di Pondok Pesantren Sidogiri. Selanjutnya peneliti mendesain *constructed wetland* yang sesuai dengan karakteristik dan permasalahan di Pondok Pesantren. Hasil *design* akan dikembangkan menjadi teknologi yang akan menyelesaikan permasalahan subjek penelitian. Pada tahap selanjutnya, teknologi akan diimplementasikan pada kondisi sesungguhnya di Pondok Pesantren Sidogiri. Terakhir, dilakukan evaluasi untuk

memperbaiki performa produk, kelayakan, dan pengembangan produk yang lebih baik. Berikut merupakan tahap pengembangan yang dilakukan:



Gambar 3.1 Metode Penulisan

3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian

[illegible]

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

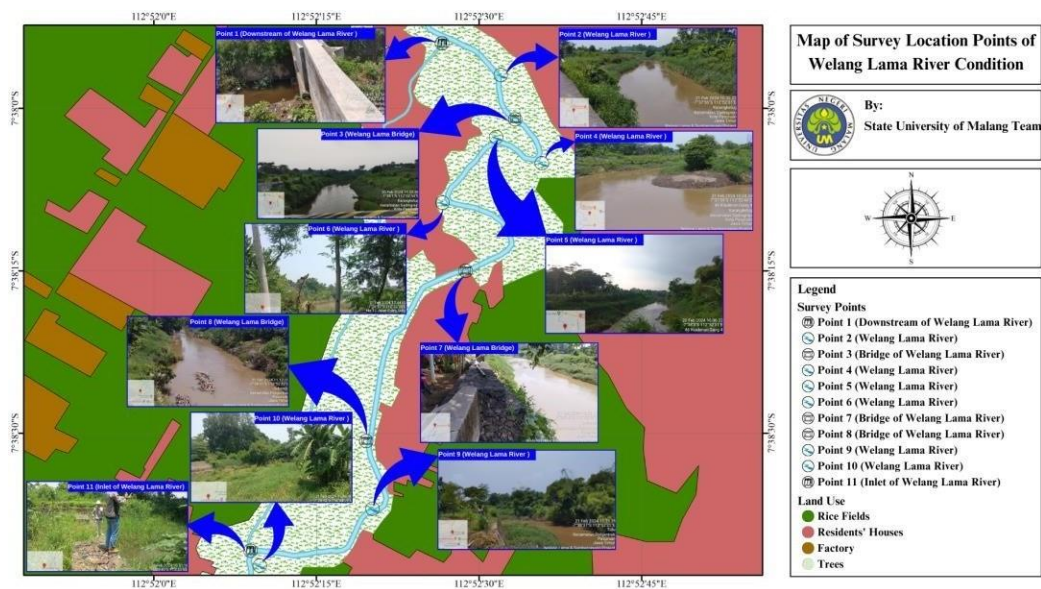
4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pondok Pesantren Sidogiri merupakan sebuah lembaga pendidikan Non Formal yang berada di kawasan RT.02 RW.02, Desa Sidogiri, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan. Letak geografis Pondok Pesantren Sidogiri yang dekat dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) Welang menimbulkan pencemaran air sungai akibat pembuangan limbah rumah tangga secara massal. Akibatnya, DAS Welang memiliki kandungan *grey water* yang menyebabkan beberapa dampak secara sosial, ekonomi, dan lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, beberapa prosedur dilakukan untuk memecahkan masalah yang dihadapi, mendesain solusi yang sesuai, mengembangkan solusi, mengimplementasikan, hingga mengevaluasi solusi yang diberikan. Prosedur tersebut terdiri dari *Analysis, Design, Development, Implementation*, dan *Evaluation* (ADDIE).

4.1.2 Temuan Penelitian

A. Analisis



Gambar 4.1 Peta Lokasi Keadaan DAS Welang

Karakteristik Limbah Domestik

a) Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air limbah di Kawasan Pondok Pesantren Sidogiri dilakukan sebanyak tiga kali selama tiga

minggu berturut-turut. Sampel diambil pada tanggal 5 Maret 2024, 12 Maret 2024 dan 18 Maret 2024. Sampel diambil dari pipa outlet pembuangan air kotor belakang asrama yang mengarah ke saluran drainase. Waktu pengambilan sampel adalah pada pukul 09.00-11.00 WIB.

Pengambilan sampel dilakukan secara komposit. Sampel dicampur dengan memperhatikan perbandingan tertentu sehingga bisa mewakili karakteristik greywater selama satu hari. Dalam satu kali pengambilan sampel, pada masing-masing lokasi diambil sampel sebanyak 100 mL.

Hasil Analisis Sampel

Selanjutnya sampel dianalisis pada laboratorium untuk mengetahui karakteristik awal greywater yang digunakan.

Tabel 4.1 Pengambilan Sampel

Waktu	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH	Suhu (°C)
5 Maret 2024	181.5	298.5	320	6.71	20.3
12 Maret 2024	198.2	309.2	200	6.97	25
18 Maret 2024	219.4	268.5	90	7.01	28
Rata-rata	199.7	292.067	203.333	6.89	24.43

Rasio dari influen dari rata-rata konsentrasi BOD dan COD awal greywater adalah:

$$\text{BOD/COD} = 199.7 \text{ mg/L} / 292.067 \text{ mg/L} = 0.68$$

Menurut Tchobaniglus et al. (2003) limbah yang mudah diolah dengan pengolahan alami adalah limbah dengan rasio influen $\text{BOD/COD} \geq 0.5$. Dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan

greywater dari Kawasan Pesantren Sidogiri dapat diolah dengan constructed Wetland.

Unsur N dan P pada greywater juga berpengaruh sebagai nutrisi untuk tumbuhan. Pada perencanaan kali ini, konsentrasi N dan P pada greywater yang digunakan adalah sebesar 65,4 mg/L dan 12,1 mg/L (Danista, 2011). Berikut ini Tabel 5.10 yang merupakan ringkasan karakteristik greywater yang digunakan

Tabel 4.2 Rata-Rata Hasil Analisis Laboratorium

No.	Parameter	Nilai
1.	BOD	199.7 mg/L
2.	COD	292.06 mg/L
3.	TSS	203.33 mg/l
4.	pH	6.89
5.	Suhu	24.43 °C
6.	Total N	65.4 mg/L
7.	Total P	12.1 mg/L

Populasi Santri

Dalam perencanaan Wetland Construction ini, periode desain yang digunakan adalah dari tahun 2021-2030, dengan initial years pada tahun 2019-2021. Sehingga diperlukan untuk memproyeksikan penduduk di Kelurahan Keputih hingga tahun 2028. Fungsi dari proyeksi penduduk adalah untuk menentukan kuantitas air limbah yang masuk kedalam *Wetland Construction*.

Tabel 4.3 Jumlah Santri 2019 – 2023

Tahun	Jumlah Santri
2019	10090
2020	12040
2021	14087
2022	16602
2023	19868

Selanjutnya, dari jumlah penduduk tersebut dilakukan perhitungan untuk menentukan proyeksi santri pesantren Sidogiri menggunakan metode geometrik dikarenakan hasil perhitungan

nilai korelasi (r) mendekati 1 dari ketiga metode (perhitungan terlampir x).

Hasil perhitungan proyeksi dapat dilihat pada

Tabel 4.4 Proyeksi Santri Sampai 2030

Tahun	Jumlah Santri	Pertumbuhan Santri	
		Jiwa	%
2024	20093	0	0
2025	23061	2968	14.8%
2026	26029	2968	12.9%
2027	28997	2968	11.4%
2028	31965	2968	10.2%
2029	34932	2968	9.3%
2030	37900	2968	8.5%

B. Kuantitas Limbah Domestik

Debit greywater yang digunakan dalam perencanaan kali ini didapatkan dari 75% jumlah penggunaan air bersih (Hlavinek et al.,2007). Diasumsikan debit penggunaan air bersih pada asrama pondok pesantren adalah 164,5 L/orang.hari. maka debit greywater yang dihasilkan pada tahun 2030.

$Q_{\text{air bersih/orang.hari}} = 164.5 \text{ L/orang.hari}$

$Q_{\text{Greywater}} = 75\% \times Q_{\text{air bersih}}$

$= 75\% \times 164.5 \text{ L/orang.hari}$

$= 123.39 \text{ L/orang.hari}$

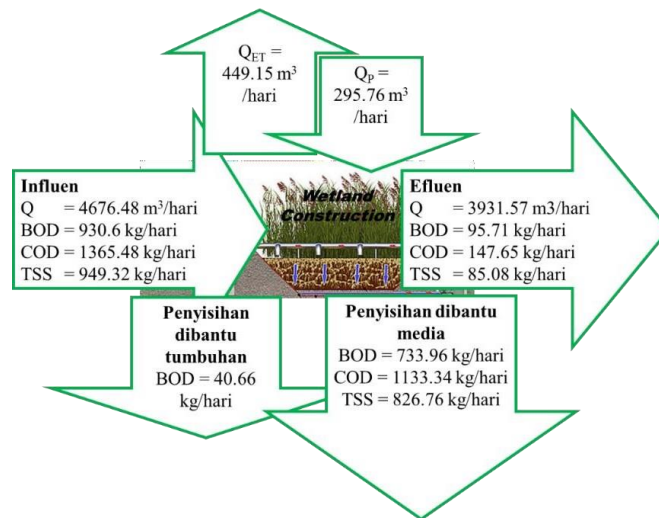
$\text{Jumlah santri 2030} = 37900 \text{ orang}$

$Q_{\text{greywater 2030}} = 37900 \times 123.39 \text{ L/orang.hari}$

$= 4676481 \text{ L/hari}$

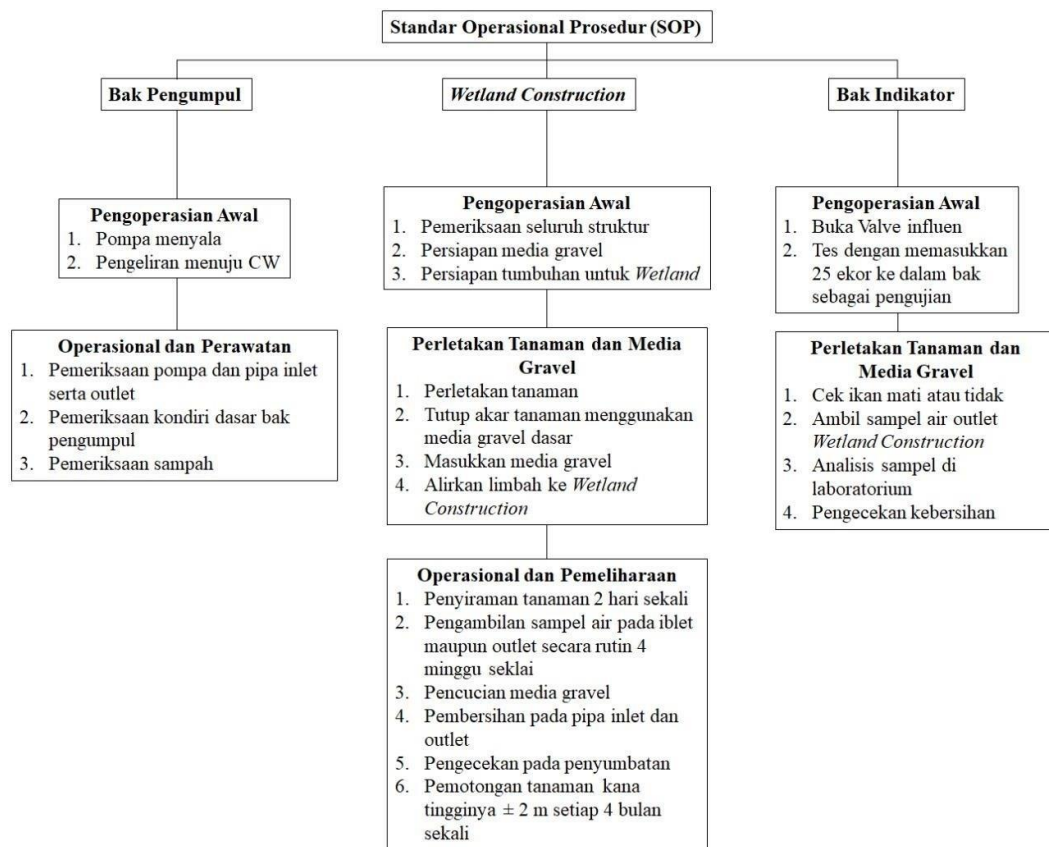
$Q_{\text{greywater rata-rata (Qave)}} = 4676.48 \text{ m}^3/\text{hari} = 0.054 \text{ m}^3/\text{detik}$

4.1.3 Pembahasan DESAIN



Gambar 4.2 Design

DEVELOPMENT



Gambar 4.3 Development SOP

IMPLEMENTATION

Implementasi dilakukan dengan memasang wetland pada DAS Welang yang mengalami pencemaran dalam beberapa waktu terakhir. Pemasangan dilakukan pada kondisi sebenarnya untuk melihat keandalan teknologi yang dihasilkan. Tahap ini memberdayakan santri untuk bergotong royong membangun *wetland* secara bersama-sama.

EVALUATION

Tahap evaluasi menjadi salah satu tahap krusial untuk memastikan *wetland* dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan. Evaluasi dilakukan dengan melihat persentase limbah air yang terserap oleh tanaman, menguji pH air yang dihasilkan, dan kualitas air yang dihasilkan. Adanya kekurangan dalam tahap ini akan digunakan untuk mengembangkan *wetland* dengan performa lebih baik.

PEMBERDAYAAN SANTRI

Implementasi Tri Hita Karana, utamanya pada poin *Palemahan* atau hubungan manusia dengan alam merupakan hal yang krusial dalam pendidikan. Pondok pesantren sebagai lembaga pendidikan non formal tidak boleh hanya mengutamakan pendidikan agama, melainkan pendidikan karakter. Kepedulian terhadap lingkungan dan kesehatan merupakan salah satu bagian dalam pendidikan karakter santri. Pendidikan agama sendiri sejalan dengan Tri Hita Karana yang mendukung adanya kontribusi positif individu terhadap lingkungan. Untuk itulah, santri Pondok Pesantren Sidogiri akan diberdayakan untuk dapat mengoptimalkan produk *Wetland Construction* sekaligus mengembangkan karakter *palemahan* dalam Tri Hita Karana. Adapun pemberdayaan santri dilakukan dalam setiap tahap pengembangan ADDIE sebagai berikut:

1. Dalam Tahap Analisis, santri diteliti terkait pemahamannya terhadap kebersihan air dan kepedulian terhadap lingkungan. Dalam tahap ini pula, karakteristik dan permasalahan santri ditelisik sehingga implementasi *wetland* dapat berjalan secara optimal. Karakteristik yang ditemukan pada santri adalah usia santri yang didominasi oleh Gen Z, kondisi ekonomi yang

cenderung berada pada *low income*, serta umumnya pendidikan formal yang didominasi oleh lulusan SMP. Berdasarkan hasil analisis, sebanyak 86.5% santri memiliki kesadaran yang rendah terhadap kebersihan air yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Selanjutnya sebanyak 92% santri merasa bahwa lingkungan bukanlah prioritas yang perlu untuk diperhatikan dalam kehidupan sehari-hari. Santri memiliki prioritas yang tinggi terhadap kebutuhan dalam menuntut ilmu agama namun kurang memperhatikan lingkungan sekitar. Disamping itu, dampak yang terjadi akibat kurangnya kepedulian santri adalah menumpuknya sampah di DAS Welang, pencemaran air, dan buruknya sanitasi di kawasan Pesantren. Berawal dari kondisi tersebut, peneliti tergerak untuk menyediakan air bersih dan menciptakan kesadaran kesehatan dan kebersihan bagi para santri di tengah di tengah berbagai kondisi yang terjadi.

2. Setelah menganalisis kebutuhan, karakteristik, dan dampak permasalahan yang terjadi, santri diberikan pemahaman dasar mengenai sanitasi, lingkungan, dan kesehatan. Pemberian sosialisasi bertujuan untuk membuka pemahaman santri mengenai pentingnya masalah-masalah sanitasi, lingkungan, dan kesehatan.
3. *Mini Challenge* dilakukan untuk memberikan keberlanjutan materi sosialisasi. Dimana Penghargaan *Mini Challenge* diberikan kepada sekelompok santri yang memiliki kepedulian tinggi terhadap lingkungan. Beberapa indikator yang diberikan adalah perilaku santri saat membuang limbah, perilaku santri saat menemukan limbah, dan kebersihan sistem air (selokan) yang dekat dengan sekelompok santri tersebut.
4. Gotong royong membangun *wetland construction* dilakukan pada saat tahap *development*. Santri akan diberikan arahan secara teknis dan praktek pembuatan *wetland*. Santri juga akan diberikan praktikpraktik bagaimana *wetland* berfungsi dan langkah untuk dapat mewujudkan *wetland* yang lain di kemudiandi kemudian hari.
5. Tahap selanjutnya merupakan sosialisasi teknis *wetland* dan pelestarian *wetland*. Santri akan diberikan pemahaman mengenai kelebihan dan kekuatan dalam *wetland* sehingga dapat mengelola *wetland* dalam jangka

panjang. Santri juga diberikan pemahaman mengenai pengendalian dan pengelolaan *wetland* yang baik sehingga dapat meningkatkan sanitasi bagi warga pesantren.

6. Penyerahan *wetland* kepada pengurus Pondok Pesantren untuk dapat dikelola dengan baik berdasarkan arahan yang telah diberikan. Pengurus Pondok Pesantren diberikan arahan untuk membuat jadwal piket pengawasan dan pengelolaan *wetland*. Peneliti juga melakukan kunjungan setidaknya tiga bulan sekali untuk memantau perkembangan *wetland* dan mengatasi berbagai kendala yang terjadi.

KONTRIBUSI PENTA HELIX

Menurut (Rampersad Quester & Troshani dalam Halibas, Sibyan, dan Maat, 2017) peran kolaborasi pentahelix mempunyai tujuan menciptakan inovasi dan berkontribusi terhadap kemajuan sosial ekonomi daerah. Konsep pentahelix yang mengharuskan sinergitas antara berbagai instansi menjadi hal mutlak yang harus dilaksanakan menjadi guna mensukseskan pengimplentasian SSF WC dalam Ponpes Sidogiri, Pasuruan yang terdiri dari Akademisi, Pihak Swasta, Pemerintah, Media, dan Komunitas. Instansi tersebut memiliki peran dan kontribusi yang berbeda yang saling mempengaruhi satu sama lainnya sehingga tidak dapat satu atau dua pihak saja yang terlibat dalam mensukseskan pengimplementasian saniter *Wetland Construction*.



Gambar 4.4 Konsep Penta Helix

Pemerintah Kabupaten Pasuruan melalui Dinas Lingkungan Hidup dan Kelompok Kerja Pengembangan dan Pengawasan Permukiman memiliki peran

penting dalam mendukung percepatan peningkatan kualitas infrastruktur sanitasi melalui Tim Percepatan Fokus Pembangunan dan Tim Kelompok Kerja Pengembangan dan Pengawasan. Pemerintah Kabupaten Pasuruan dalam rangka mencapai konektivitas dan aksesibilitas masyarakat perlu melakukan beberapa program kerja yang berkaitan dengan sanitasi seperti WASH (*Water Sanitation Hygiene*), BABS (Buang Air Bersih Sembarangan), Forum Pengelolaan Sanitasi Berkelanjutan yang disertai dengan audiensi, dan AGAWE (Ayo Gawe WC) guna mengubah kebiasaan dan karakter buruk santri seperti membuang limbah domestik sembarangan dan membuang air besar sembarangan. Dalam hal mencapai mencapai akses sanitasi 90 % pada tahun 2024 tentu memiliki peran penting dalam pengimplementasian SSF WC dalam Ponpes Sidogiri, peran pendampingan dan dukungan pendanaan terkait dengan penerapan saniter tersebut sangat penting adanya guna mensukseskan penerapan saniter. Sosialisasi dan pendidikan lapangan secara langsung dari Pemerintahan Kabupaten Pasuruan terhadap santri Ponpes Sidogiri memiliki peran krusial dalam menggugah wawasan terkait dengan pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan, diharapkan dengan terbukanya wawasan tersebut dapat mengubah tingkat kesadaran yang rendah terhadap kebersihan dan kesehatan menjadi lebih sadar akan kebersihan dan kesehatan. Selain itu Pemerintah Kabupaten Pasuruan harus membuat regulasi terkait pengelolaan sanitasi berkelanjutan guna menjadi acuan standar bagi seluruh masyarakat Kabupaten Pasuruan.

Akademisi yang terdiri dari perguruan tinggi dan lembaga pemerintahan Kabupaten Pasuruan memiliki peran krusial dalam membentuk santri Ponpes Sidogiri yang peka terhadap pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan melalui program-program pendidikan secara langsung. Dalam usaha perubahan karakter tersebut akademisi harus berkolaborasi dengan stakeholder lainnya agar sinergitas terwujud dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah dirancang. Selain itu, peran akademisi yaitu memberikan pandangan, analisis, dan menciptakan inovasi terkait pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan yang dapat diterapkan pada Ponpes Sidogiri dalam proses pengembangannya dan penyempurnaannya. Pemberdayaan dan keterlibatan santri dalam proses perubahan karakter,

pengembangan, dan penyempurnaan sanitasi menjadi hal mutlak untuk dilakukan guna menjamin pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan.

Komunitas masyarakat Kabupaten Pasuruan yang meliputi Forum DAS Sungai Welang, Pengurus Cabang Nahdlatul Ulama, dan Jejaring Masyarakat Air Bersih dan Sanitasi Kabupaten Pasuruan memiliki peran dalam melakukan pendampingan operasional terkait dengan pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan sesuai dengan pembelajaran yang telah didapatkan sebelumnya dan turut berkolaborasi dengan stakeholder lainnya dalam program perubahan karakter Ponpes Sidogiri menuju karakter yang peduli terhadap sanitasi dan air bersih. Selain itu komunitas berperan sebagai mitra masa depan Ponpes Sidogiri terkait dengan operasional dan pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan sehingga tercipta atmosfer saling mendukung dan bersinergi guna untuk beradaptasi terhadap segala kondisi yang akan terjadi dimasa mendatang.

Media massa yang terdiri dari berbagai media sosial dan website online seperti google scholar, berita online, dan website resmi pemerintahan memiliki peran krusial dalam memberikan pembelajaran dan informasi terkait tata cara pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan. Banyak sekali informasi yang akan tersedia yang dapat dijadikan landasan dalam sanitasi dalam tahapan pengembangan dan penyempurnaan untuk kedepannya. Selain itu media sosial Ponpes Sidogiri dapat dimanfaatkan dalam menyebarkan informasi terkait operasional dan pengelolaan sanitasi secara luas kepada masyarakat umum dan Ponpes lainnya yang tersebar di seluruh Indonesia guna menjadi bahan pembelajaran dan menyadarkan terkait dengan pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan. Pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan tentunya sesuai dengan nilai-nilai yang diajarkan oleh seluruh agama, tak terkecuali Islam dan norma sosial masyarakat sehingga dapat dijadikan nilai tambah untuk mengajak masyarakat lainnya dalam penerapan sanitasi yang berkelanjutan.

Pihak swasta yang dalam hal ini yaitu Pondok Pesantren Sidogiri itu sendiri memiliki peran krusial dalam penerapan dan pengelolaan sanitasi yang berkelanjutan ini. Peran krusial tersebut terwujud dalam penyediaan dana dan praktik operasional secara langsung itu sendiri. Pihak Pondok Pesantren Sidogiri

harus dapat menyediakan pendanaan yang cukup dalam membangun sanitasi WC yang berkelanjutan ini. Pendanaan tidak hanya didapatkan dari internal pondok pesantren saja, tetapi dapat didapatkan dari pihak eksternal seperti melalui dukungan dari pemerintah dan pihak swasta yang beroperasi dalam DAS Welang yang bersedia memberikan bantuan pendanaan terhadap pembangunan sanitasi berkelanjutan. Maka dari itu pihak pondok pesantren mutlak melakukan manajemen keuangan yang baik dan dapat mencari sumber dana lainnya yang dapat dioptimalkan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam beberapa tahun terakhir telah terjadi pencemaran aliran sungai pada Sungai Welang yang disebabkan oleh pencemaran oleh limbah domestik yang dilakukan oleh santri Pondok Pesantren Sidogiri, Pasuruan. Pembuangan sampah sembarangan disebabkan oleh karakter dan kesadaran masyarakat yang rendah terhadap kelestarian lingkungan yang sesuai dengan nilai budaya *Tri Hita Karana*. Limbah domestik tersebut mengandung *grey water* yang menyebabkan aliran sungai berubah warna dan memiliki bau yang tidak sedap sehingga menyebabkan penyebaran penyakit di kalangan santri.

Pemulihan terkait kelestarian dan kebersihan DAS Welang mutlak dilakukan sehingga dapat digunakan untuk kegiatan santri dan masyarakat sebagai tempat untuk minum, mandi, dan mencuci seperti yang digunakan dalam beberapa dekade sebelumnya. Sub-Surface Wetland Construction dengan *Horizontal Flow System* dengan variasi tanaman Kana (*Canna Indica*) muncul sebagai solusi potensial yang berbasis lingkungan berkelanjutan dan memiliki nilai estetika sehingga indah untuk dipandang mata. Dalam proses penerapan *wetland construction* digunakan metode yang terdiri dari *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation* (ADDIE) dengan melakukan pemberdayaan sumber daya santri. Selain itu konsep kerjasama pentahelix yang melibatkan 5 stakeholder terkait yaitu pemerintah, akademisi, komunitas, media massa, dan pihak swasta menjadi kunci penting dalam penerapan *wetland construction* juga menjadi kunci penting dalam penerapan *wetland construction*. Semua *stakeholder* harus saling berkolaborasi dan bersinergi bersama guna mewujudkan *wetland construction* yang bermanfaat terhadap lingkungan.

Diharapkan penerapan sanitasi berkelanjutan yang dilakukan dengan berbagai kolaborasi dari berbagai *stakeholder* dan prosedur yang dilaksanakan akan memberikan dampak perubahan yang signifikan terhadap perubahan karakter santri yang peduli dan peka terhadap lingkungan, terwujudnya pemberdayaan santri dalam proses pengelolaan *wetland construction*, dan terwujudnya pemulihan kebersihan dan kelestarian bagi DAS Welang dalam jangka panjang.

Penerapan *wetland construction* di Pondok Pesantren Sidogiri, Pasuruan diharapkan juga menjadi pemantik dan motivasi bagi pondok pesantren dan masyarakat umum untuk menciptakan lingkungan yang lestari dan bersih yang sesuai dengan *Tri Hita Karana* terutama dalam aspek *Palemahan*.

5.2 Saran

1. Analisis finansial yang lebih mendalam mengenai proses perencanaan Wetland Construction sehingga dihasilkan anggaran yang lebih rinci sesuai dengan kondisi di Pondok Pesantren Sidogiri, Pasuruan.
2. Dalam pengelolaan wetland construction di Pondok Pesantren Sidogiri, Pasuruan diharapkan untuk kedepannya dikolaborasikan dengan Internet of Things sehingga diharapkan terjadinya proses penyempurnaan dan efisiensi sehingga menciptakan pengelolaan yang berkelanjutan dan bersinergi dengan perkembangan teknologi yang sedang berkembang.
3. Diharapkan menjadi proyek percontohan bagi daerah lain terkhusus pada bagian pendidikan pondok pesantren lainnya di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Buldan Rayaganda Rito, B. (2017). Pemanfaatan Constructed Wetland Sebagai Bagian Dari Rancangan Lansekap Ruang Publik Yang Berwawasan Ekologis Studi Kasus Houtan Park China. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 9(1), 46–59. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol9.iss1.art5>
- Diah Yuniti, I. G. A., Wahyuni, A. A. A. R., Tirtawati, A. A. R., Suryathi, N. W., & Surya Putra, I. G. A. C. (2022). Filosofi Kearifan Lokal Tri Hita Karana Dalam Menjaga Kelangsungan Kelompok Wanita Tani “Jempiring” Kabupaten Badung. *Jurnal Penelitian Agama Hindu*, 9843, 79–88. <https://doi.org/10.37329/jpah.v0i0.1618>
- DISBUD Pemerintah Bulengleng. (2021). Tri Hita Karana. In *DISBUD Bali*. <https://disbud.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/56-tri-hita-karana>
- ElZein, Z., Abdou, A., & ElGawad, I. A. (2016). Constructed Wetlands as a Sustainable Wastewater Treatment Method in Communities. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.053>
- Faradiba. (2023). PENDUGAAN EROSI DI WILAYAH TENGAH DAS WELANG KABUPATEN PASURUAN. *Soil and Land Utilization Manajement*. <https://jurnalsolum.faperta.unand.ac.id/index.php/solum/article/view/262>
- Fitri, D. A. (2021). Faktor-Faktor Penyebab Munculnya Permukiman Kumuh Daerah Perkotaan Di Indonesia (Sebuah Studi Literatur). *Journal Unesa*, 1–9. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/swara-bhumi/article/view/38202/33713>
- Herawati, H., Akbar, A. A., & Farastika, D. (2018). Water table evaluation post the construction of canal blocks on peatland in West Kalimantan, Indonesia. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 195, p. 03016). EDP Sciences.
- Husnabilah, A. (2008). Perencanaan Constructed Wetland Untuk Pengolahan Greywater Menggunakan Tumbuhan *Canna Indica* (Studi Kasus: Kelurahan Keputih Surabaya). *Skripsi*, 6–46.
- NUWSP. (2023). Sebagian Besar Sungai di Indonesia Tercemar, Apa Pengaruhnya Terhadap Penyediaan Air Minum? In *NUWSP*. <https://nuwsp.web.id/artikel/6993>
- Nyssa, A. R., Susanto, D., & Panjaitan, T. H. (2022, January). Sustainable Construction of Wetland Stilt House in Indonesia. In *Proceedings of 2021 4th International Conference on Civil Engineering and Architecture* (pp. 625-632). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Okpatrioka Okpatrioka, S. S. (2023). Peningkatan Kompetensi Guru Dalam Revolusi Industri Industri 4.0. *Journal of Humanities and Humanities*. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jhss/article/view/8534>
- Pigawati, R. N. B. (2015). Kajian Karakteristik Kawasan Pemukiman Kumuh Di Kampung Kota (Studi Kasus: Kampung Gandekan Semarang). *Teknik*

Perencanaan Wilayah Kota, 4(2), 267–281.

Seriadi, S. L. N. (2022). Tri hita karana dan pemanasan global. *Veda Jyotih*:

Spieles, D. J. (2022). Wetland construction, restoration, and integration: A comparative review. *Land*, 11(4), 554. *Jurnal Agama Dan Sains*, 2(1), 223–231.

UU 1 Tahun 2011_Permukiman. (n.d.).

William W. Lee, D. L. O. (2004). Multimedia-based Instructional Design: Computer-based Training, Web-based Training, Distance Broadcast Training, Performance-based Solutions. *John Wiley & Sons*, 2004, 445 halama.
https://books.google.co.id/books/about/Multimedia_based_Instructional_Design.html?hl=id&id=QXl4ZtUug6YC&redir_esc=