

Rancang Bangun Aplikasi Dekstop untuk Kebutuhan Uji Fitoremediasi

Kurniawan Hamidi^{1)*}, Lina Hanarisanty²⁾, Roselyn Indah Kurniati³⁾, Handi Wilujeng Nugroho⁴⁾

^{1,4} Program Studi Teknik Industri, Universitas Universal, Sei. Panas, Kota Batam, Indonesia.

^{2,3} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Universal, Sei. Panas, Kota Batam, Indonesia.

khmd93@gmail.com*; lina.hanarisanty@uvers.ac.id; indahroselyn@gmail.com; handynugroho41@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan jumlah limbah cair hasil dari aktivitas bisnis Binatu menurunkan kualitas air. Kualitas air yang turun, tidak dapat langsung dibuang ke badan air jika polutan yang dikandung pada limbah cair tersebut melebihi nilai ambang batas. Pada proses perhitungannya, menganalisis dan mengevaluasi setiap sampel limbah secara manual membutuhkan waktu yang lama. Riset ini, bertujuan untuk membuat sebuah aplikasi desktop untuk mempermudah *user* untuk menghitung dan membandingkan hasil nilai parameter dari limbah cair terhadap nilai ambang batas, seperti, kandungan COD, TSS, pH dan Suhu. Terdapat 2 buah kelompok metode yang digunakan pada riset ini, yaitu: metode pengumpulan data dari wawancara *user* dan metode pengembangan program aplikasi dengan SDLC Waterfall menggunakan bahasa Python dan pustaka CustomTkinter. Berdasarkan metode tersebut, telah berhasil dirancang, dibuat, dan diuji secara fungsionalitas sebuah aplikasi desktop portabel untuk kebutuhan uji Fitoremediasi oleh para ahli dibidang teknik lingkungan.

Kata kunci: Aplikasi Dekstop, CustomTkinter, Fitoremediasi, Model Waterfall, Python.

ABSTRACT

An increase in the amount of wastewater effluent resulting from laundry business activities degrades water quality. The degraded water quality cannot be directly discharged into water bodies if the pollutants contained in the wastewater exceed the threshold value. In the calculation process, analysing and evaluating each waste sample manually takes a long time. The research aims to create a desktop application to make it easier for users to calculate and compare the results of parameter values of liquid waste against threshold values, such as, COD content, TSS, pH and Temperature. There are 2 groups of methods used in this research, namely: data collection method from user interviews and application programme development method with SDLC Waterfall using Python language and CustomTkinter library. Based on these methods, a portable desktop application for phytoremediation testing by experts in the field of environmental engineering has been successfully designed, created, and tested for functionality.

Keywords: Desktop Application, CustomTkinter, Phytoremediation, Waterfall Model, Python.

Copyright (c) 2024 Kurniawan Hamidi, Lina Hanarisanty, Roselyn Indah Kurniati, Handi Wilujeng Nugroho
DOI: <https://doi.org/10.36275/e64jwn55>

PENDAHULUAN

Tingginya pemakaian air akibat peningkatan jasa Binatu berbanding lurus dengan jumlah limbah yang dihasilkan (Ho et al., 2021). Limbah hasil Binatu mengandung surfaktan atau senyawa aktif yang dapat menurunkan kualitas air (Mataram et al., 2019). Senyawa aktif yang terkandung berupa konsentrasi fosfat, amonia, padatan tersuspensi, kekeruhan dan zat yang tinggi yang dapat meningkat seiring berjalannya waktu dan dapat mencemari badan air seperti eutrofikasi (Kinashih & Astuti, 2023; Triana & Ariana, 2023). Penurunan kualitas air akibat pencemaran yang terjadi pada badan air dapat diketahui berdasarkan pengujian menggunakan parameter seperti COD, TSS, suhu dan PH (Afrianti et al., 2022). Pada mekanisme pengujian sampel air limbah hasil Binatu, masing-masing hasil parameter diukur

dan dibandingkan terhadap nilai baku mutu (Sulistia & Septisya, 2020; Susanto et al., 2024). Hasil sampel yang tidak lolos nilai baku mutu kemudian diencerkan terlebih dahulu agar dapat dilanjutkan ke tahapan adsorpsi surfaktan untuk mencapai peningkatan kualitas air limbah hasil Binatu yang layak untuk dibuang ke badan air (Fernianti et al., 2017). Peningkatan kualitas air melalui proses adsorpsi surfaktan dapat dilakukan menggunakan metode filtrasi dengan senyawa karbon aktif (Fernianti et al., 2017; Mataram et al., 2019), fitoremediasi (Fajarianingtyas et al., 2021) dan kombinasi dari keduanya (Damara, 2021; Kencana & Radityaningrum, 2022).

Di Indonesia, pengujian menggunakan metode fitoremediasi memanfaatkan tanaman air untuk menurunkan kadar limbah pada air telah dilakukan pada beberapa riset seperti penggunaan tanaman kangkung air oleh Ngirfani & Puspitarini (2020), penggunaan tanaman eceng gondok untuk menurunkan persentase limbah cair akibat pencemaran dari limbah cair tahu oleh Ningrum et al., (2020), penurunan kadar limbah cair dari rumah potong ayam menggunakan melati air oleh Novita et al., (2021), dan pemanfaatan fitoremediasi untuk menurunkan limbah tembaga pada lahan tambang oleh Leka & Nasution, (2024). Metode ini diklaim lebih mudah diterapkan, mampu menambah nilai estetika pada lingkungan dan biaya yang murah (Butarbutar et al., 2024).

Di lapangan, proses pengumpulan dan analisis data sampel kualitas air membutuhkan biaya yang mahal dan upaya yang signifikan untuk memperkirakan beban polutan (Park et al., 2015). *Tool* berbasis website telah dikembangkan oleh (Park et al., 2015) untuk memperkirakan beban polutan pada kualitas air yang disebut dengan *LOADEST. Interface* website tersebut membutuhkan *user experience* tingkat tinggi pada tahapan penyiapan data, konfigurasi dan eksekusi sehingga dikembangkanlah *user interface* berbasis algoritma Python untuk mempermudah penggunaan dan mempercepat proses penginputan data, unduh data, format *inputan* data dan mengumpulkan *output* data (Gao et al., 2021). Program tersebut digunakan untuk memodelkan beban polutan air di sungai untuk memprediksi tingkat pencemaran air berdasarkan interval waktu (Gao et al., 2021). Penggunaan *output* dari model pada program tersebut tidak terdapat perhitungan spesifik tentang analisa beban polutan yang dapat ditanggung pada tanaman air. Sejauh ini, proses pemantauan hasil uji dengan teknik fitoremediasi kebanyakan riset masih memantau secara manual dan masih terbatas pada pemantauan pH air dan pH tanah berbasis Web IOT(Sitompul et al., 2024) sehingga belum terdapat riset yang membahas topik tentang *interface* program untuk menghitung kebutuhan beban polutan yang dapat ditanggung oleh tanaman pada pengujian fitoremediasi dan program untuk menghitung efisiensi penurunan air limbah.

Tujuan dari riset ini ialah untuk merancang dan memprogram aplikasi desktop yang dapat digunakan untuk menghitung pembebanan polutan pada tanaman dan menghitung efisiensi penurunan air limbah menggunakan algoritma dan *framework* Python.

METODE

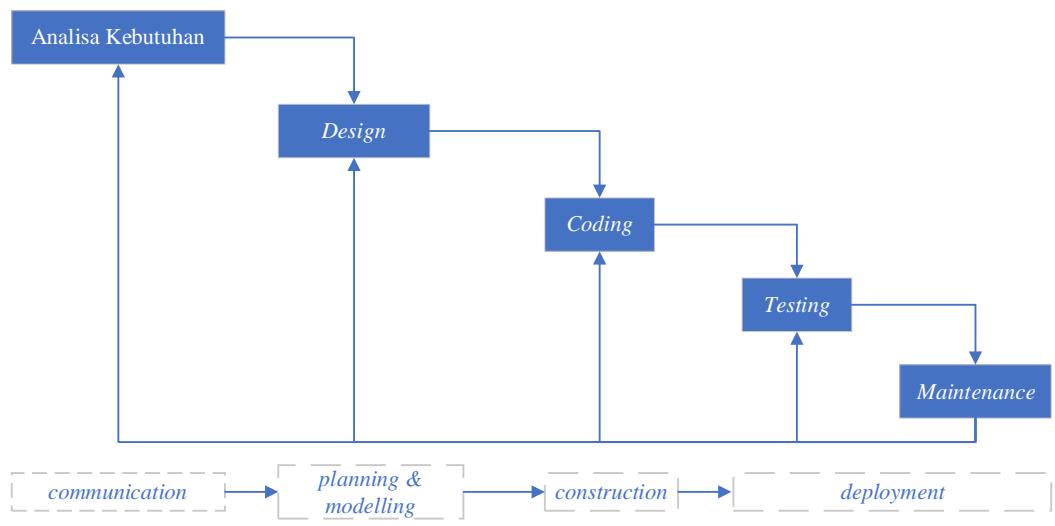
Terdapat tiga kelompok utama yang digunakan pada riset ini, yaitu pengumpulan kebutuhan, pengembangan aplikasi, dan evaluasi implementasi sistem. Tahap awal yang dilakukan adalah mengumpulkan kebutuhan *user* dengan melakukan studi literatur dan wawancara kepada 3 orang responden yang ahli dibidang fitoremediasi. Pada tahap kedua dilakukan pengembangan program aplikasi desktop secara sistematis untuk menjawab kebutuhan *user*. Selanjutnya pada tahap akhir, dilakukan evaluasi aplikasi oleh tiga responden awal dan hasil dari evaluasi tersebut digunakan sebagai dasar kesimpulan dan pengembangan lanjutan pada riset ini.

Python, CustomTkinter

Riset ini memanfaatkan bahasa pemrograman Python pada proses perancangan dan pengembangan program aplikasi. Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang mudah dibaca, dipelajari, dipahami, *powerful*, memiliki pustaka standar yang sangat besar dan fleksibilitas kegunaan pada banyak aplikasi seperti komputasi ilmiah, skrip, otomatisasi dan pengembangan web (Seetha et al., 2023). *Framework* yang digunakan pada riset ini untuk membuat *user interface* ialah *Tkinter* dengan pustakanya yaitu *CustomTkinter*. Pustaka ini merupakan ekstensi dari *framework* GUI *tkinter* yang digunakan untuk menambahkan fitur khusus dan widget baru sehingga proses pembuatan *Graphic User Interface* (GUI) menjadi lebih responsif dan mampu memberikan efek visual yang dinamis (Seetha et al., 2023). Selain itu, aplikasi desktop dibuat secara *stand-alone* untuk versi windows 32-bit atau 64-bit yang dapat langsung digunakan secara *portable*. Dengan perkembangan pemrograman berorientasi objek, analisis perhitungan beban polutan pada tanaman air dan analisis perhitungan penurunan konsentrasi polutan pada air menjadi lebih mudah untuk dihitung.

Software Development Life Cycle: Waterfall

Riset ini menggunakan metode Waterfall untuk mengembangkan aplikasi desktop. Metode ini dipilih karena sistematiknya tahapan-tahapan pada pembuatan aplikasi, sehingga proses penggerakan lebih terjadwal dan efektif untuk digunakan pada kompleksitas program yang rendah dan kebutuhan permasalahan yang sudah dipahami dengan baik (Iskandar et al., 2022). Metode ini disebut juga dengan model sekuensial linier yang terurut dari proses *komunikasi*, desain perencanaan dan pemodelan, konstruksi atau pengkodingan, pengujian dan tahap pendukung atau penyebaran (Iskandar et al., 2022; Mardiani & Ramadhan, 2023).



Gambar 1. SDLC: Waterfall model

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Kebutuhan

Peneliti mengawali investigasi kebutuhan dengan melakukan studi literatur dan wawancara kepada 3 orang ahli dan memahami teknik fitoremediasi. Wawancara tersebut menanyakan terkait masalah utama yang bertujuan untuk menganalisa kebutuhan pemanfaatan aplikasi sebelum dan sesudah uji fitoremediasi dilakukan. Berikut ini adalah hasil identifikasi kebutuhan *user* berdasarkan wawancara tersebut:

Tabel 1. User needs

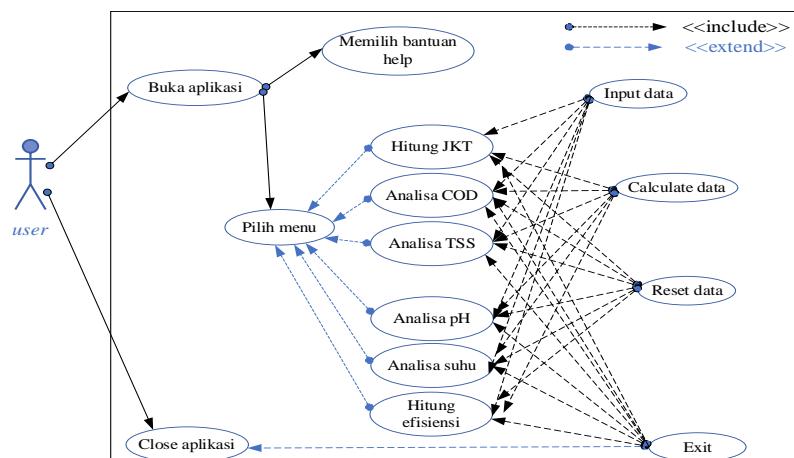
No	User needs
1	Butuh semacam <i>software</i> atau aplikasi hitung sederhana dan mudah digunakan

-
- 2 Terdapat menu hitung jumlah kebutuhan tumbuhan, analisa COD, Analisa TSS, Analisa pH dan Analisa suhu
 - 3 Terdapat *inputan*, *outputan*, tombol hitung dan tombol reset
 - 4 Tampilan *interface* sederhana dan menarik untuk digunakan
-

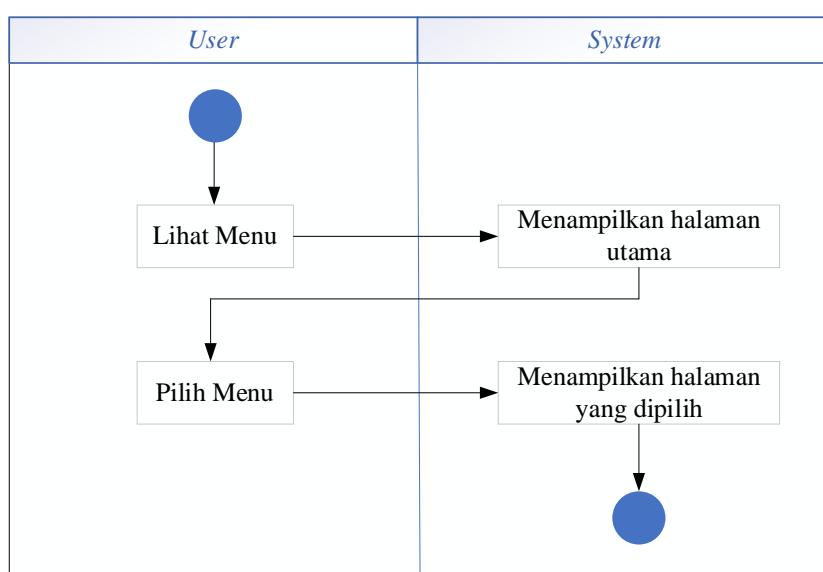
Use case diagram

Peneliti mengawali langkah pembuatan aplikasi dekstop dengan merancang *use case diagram* dan *activity diagram*. Kedua aktivitas ini dibuat untuk memahami bagaimana sistem aplikasi bekerja dengan cara memvisualisasikannya ke bentuk diagram. Hasil visualisasi tersebut memperlihatkan proses aktivitas yang tampil pada *interface* dalam bentuk urutan proses yang memudahkan pada proses pembuatan koding.

Sistem dari rancangan aplikasi ini bekerja diawali oleh *user* membuka aplikasi telebih dahulu, setelah *user* masuk ke aplikasi maka akan muncul halaman awal. Pada halaman awal terdapat menu halaman proses, dan menu ke halaman *help* dan menu exit. Proses perhitungan dapat dilakukan oleh *user* apabila *user* masuk ke halaman proses. Pada halaman proses *user* memilih proses perhitungan yang digunakan sesuai kebutuhannya. Setiap pilihan terhubung ke halaman perhitungan yang dibuat sesuai desain dan fungsinya. Pada setiap prosesnya, *user* menginputkan data-data yang diperlukan untuk dihitung.



Gambar 2. Use case diagram



Gambar 3. Activity diagram

Data yang ter-*input* dengan benar kemudian dihitung sesuai dengan algoritma perhitungan yang *diinputkan* pada pengkodingan setelah menekan *trigger push button calculate*. *Output* perhitungan muncul setelah proses *calculate button* tersebut di tekan. *User* dapat menghapus kembali nilai *inputan* dan *output* dari hasil perhitungan dengan cara menekan *trigger push button reset*. Langkah selanjutnya, *user* dapat menyesuaikan proses hitung sesuai dengan kebutuhannya. Apabila *user* ingin menghitung kembali, maka *user* dapat kembali menekan *menu button* proses. Apabila *user* ingin langsung keluar dari aplikasi, maka *user* dapat menekan *trigger button menu exit*.

Pada alur *activity diagram*, setelah *user* masuk ke aplikasi, *user* melakukan aktivitas melihat menu, kemudian sistem akan menampilkan halaman menu proses. *User* kemudian memilih menu yang disesuaikan untuk kebutuhan perhitungan, kemudian sistem menampilkan halaman dari menu yang dipilih. Tahapan selanjutnya ialah meng data hitung, dan menghitung, lalu me-*reset* atau dapat keluar dari aplikasi setelah menekan menu *exit*.

Tahap Desain

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan dari *user* maka dirancanglah suatu bentuk desain aplikasi hitung sederhana menggunakan resolusi 500×500 . Pada tampilan, untuk font peneliti menggunakan *font* roboto, lalu agar menarik daya visual, peneliti menggunakan beberapa kombinasi warna. Warna pada desain yang digunakan untuk *background* ialah warna dengan kode #400040 dan warna *frame* pada menu peneliti menggunakan warna dengan kode #8000ff. selain itu, peneliti menggunakan warna kombinasi lainnya untuk huruf, label, dan *entry* yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Penggunaan Kode Warna

Kode Warna	Fungsionalitas
#400040	<i>Background frame</i>
#8000ff	<i>Frontground frame</i>
#8000ff, #008080	<i>Background button</i>
#808000, #804000, #400000	<i>Frontground button menu</i>
#ffffff, #00ff40	<i>Text color</i>

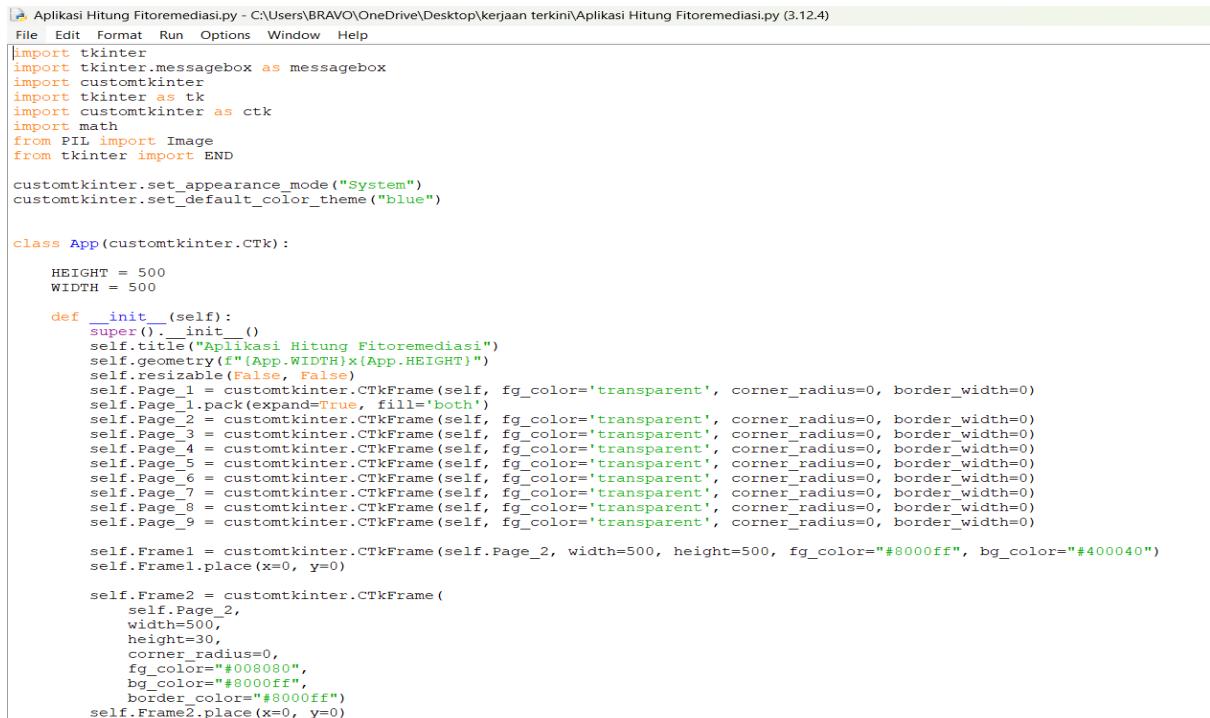
Pada proses desain halaman, jumlah halaman yang didesain menyesuaikan dengan jumlah kebutuhan *user* sebanyak 8 buah halaman, yaitu: halaman utama atau *home*, halaman menu proses, halaman *help*, halaman perhitungan JKT, halaman analisa COD, halaman analisa TSS, halaman analisa pH dan halaman analisa suhu, demikian pula jumlah kebutuhan *button*, *label*, *entry* yang disesuaikan dengan kebutuhan pada masing-masing halaman.

Coding dan Tampilan Hasil

Algoritma permograman ditulis menggunakan bahasa *Python* dengan modul yang digunakan ialah tkinter, math, customtkinter dan PIL. Hasil koding tersusun dari lebih dari 1000 baris dan tampilan koding dapat dilihat pada gambar 4. Sedangkan untuk hasil halaman *interface* dapat dilihat dari perwakilan pada gambar 5, gambar 6 dan gambar 7.

Pengujian

Tahapan pengujian merupakan tahapan pengujian kesesuai koding dengan desain dan fungsionalitas koding terhadap kebutuhan proses perhitungan. Hasil dari pengujian koding secara fungsional dapat dilihat pada tabel 3. Hasil dari seluruh pengujian tidak ditemukan masalah sehingga koding dan *interface* yang dibuat telah benar dan sesuai dengan kebutuhan *user* yang diwawancara.



```

Aplikasi Hitung Fitoremediasi.py - C:\Users\BRAVO\OneDrive\Desktop\kerjaan terkini\Aplikasi Hitung Fitoremediasi.py (3.12.4)
File Edit Format Run Options Window Help
import tkinter
import tkinter.messagebox as messagebox
import customtkinter
tkinter as tk
import customtkinter as ctk
import math
from PIL import Image
from tkinter import END

customtkinter.set_appearance_mode("System")
customtkinter.set_default_color_theme("blue")

class App(customtkinter.CTk):
    HEIGHT = 500
    WIDTH = 500

    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.title("Aplikasi Hitung Fitoremediasi")
        self.geometry(f"{App.WIDTH}x{App.HEIGHT}")
        self.resizable(False, False)
        self.Page_1 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_1.pack(expand=True, fill='both')
        self.Page_2 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_3 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_4 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_5 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_6 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_7 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_8 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Page_9 = customtkinter.CTkFrame(self, fg_color='transparent', corner_radius=0, border_width=0)
        self.Frame1 = customtkinter.CTkFrame(self.Page_2, width=500, height=500, fg_color="#8000ff", bg_color="#400040")
        self.Frame1.place(x=0, y=0)

        self.Frame2 = customtkinter.CTkFrame(
            self.Page_2,
            width=500,
            height=30,
            corner_radius=0,
            fg_color="#008080",
            bg_color="#8000ff",
            border_color="#8000ff")
        self.Frame2.place(x=0, y=0)

```

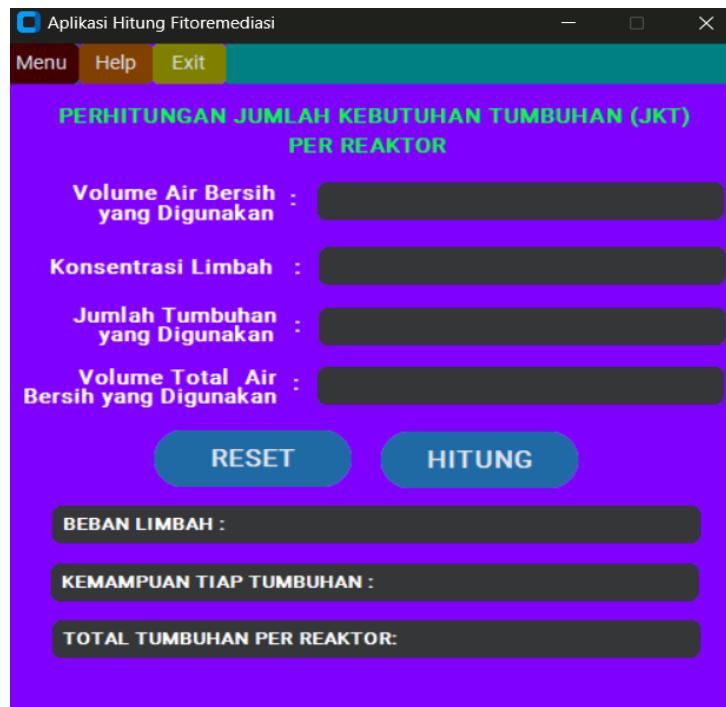
Gambar 4. Coding program



Gambar 5. Hasil Halaman utama



Gambar 6. Hasil Halaman Menu Proses



Gambar 7. Hasil Halaman Perhitungan JKT

Tabel 3. Hasil Uji Aplikasi

No.	Fungsionalitas	Hasil Pengujian
1.	Halaman utama/home	OK
2.	Button pindah halaman	OK
3.	Halaman menu proses	OK
4.	Button menu proses	OK
5.	Halaman perhitungan JKT	OK
6.	Halaman analisa COD	OK
7.	Halaman analisa TSS	OK
8.	Halaman analisa pH	OK
9.	Halaman analisa suhu	OK
10.	Halaman menu help	OK
11.	Notifikasi <i>error inputan</i> muncul	OK
12.	Mampu menginput data	OK
13.	Mampu mereset data	OK
14.	Menu exit	OK
15.	<i>Output</i> komputasi sesuai dengan perhitungan manual	OK

Instalasi

Berdasarkan hasil pengujian terhadap koding dan *interface* yang dilakukan oleh *user* yang diwawancara, didapatkan informasi bahwa proses *Fito needs Calculation* dapat diproses ke tahap pembuatan program aplikasi dengan format ekstensi .exe agar dapat digunakan oleh semua pengguna windows di kalangan akademisi teknik lingkungan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada riset, telah dirancang dan dibuat sebuah aplikasi desktop menggunakan bahasa Python untuk memudahkan proses hitung data beban polutan dan efisiensi polutan pada air menggunakan teknik fitoremediasi. Adapun saran untuk penelitian lanjutan pada riset selanjutnya ialah, belum terdapat sinkronisasi *interface* uji RFT yang dilakukan sebelum proses uji fitoremediasi dengan aplikasi dikarenakan prosesnya membutuhkan intergrasi dengan sensor visual, dan mikrokontroler.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti, S., Raymonda, D., Pernando, S., & Pardede, P. (2022). Rancangan Alat Penjernih Air Menggunakan Media Kombinasi Fiber Kelapa Sawit Dan Arang AktiF (Design of Water Cleaning Equipment Using Combination Media of Palm Fiber and Active Charcoal). *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 10(2), 249–263.
- Butarbutar, Y., Simamora, H. A. P., Manik, M. G. P., Napitu, A. T., Rangkuti, M. N. S., & Febriyossa, A. (2024). Fitoremediasi Limbah Rumah Tangga Menggunakan Tumbuhan Semanggi Air (Marsilea crenata). *Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(2), 1405–1411.
- Damara, A. (2021). *Kombinasi Fitoremediasi Tumbuhan Echinodorus Palaefolius dan Filtrasi Arang Aktif dalam Pengolahan Limbah Binatu*. <https://repository.araniry.ac.id/id/eprint/23068/>
- Fernianti, D., Suryati, L., & Mardwita, M. (2017). Pengaruh Jenis Detergen Dan Rasio Pengenceran Terhadap Proses Penyerapan Surfaktan Dalam Limbah Detergen Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Teh. *Distilasi*, 2(2), 10–14.
- Gao, J., White, M. J., Bieger, K., & Arnold, J. G. (2021). Design and development of a Python-based interface for processing massive data with the LOAD ESTimator (LOADEST). *Environmental Modelling and Software*, 135(October 2020), 104897. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104897>
- Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>
- Iskandar, K., Christianto, & Herlina, M. G. (2022). Property selling system with support for validation and verification process. *Procedia Computer Science*, 216(2022), 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.126>
- Kencana, E. M., & Radityaningrum, A. D. (2022). Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Dampak*, 19(2), 56. <https://doi.org/10.25077/dampak.19.2.56-65.2022>
- Kinasih, R. P., & Astuti, D. (2023). Kajian Literatur Pengaruh Karbon Aktif terhadap Penurunan Kadar Fosfat pada Pengolahan Air Limbah Laundry. *Jurnal Semesta Sehat (J-Mestahat)*, 2(2), 82–100. <https://doi.org/10.58185/j-mestahat.v2i2.97>
- Leka, E. S. K., & Nasution, R. K. (2024). Metode fitoremediasi dalam pengelolaan air asam tambang batubara (Fe dan Mn) berdasarkan literatur review. *Jurnal Kmia Dan Ilmu Lingkungan*, 2(1), 97–104.
- Mardiani, E., & Ramadhan, F. A. (2023). Rancang Bangun Perangkat Lunak Penjualan Dengan Menggunakan Metode Waterfall. *Digital Transformation Technology*, 3(2), 662–668. <https://doi.org/10.47709/digitech.v3i2.3224>
- Mataram, A., DN, J., Anisya, N., Nadiyah, N., Rizal, S., & Rachmawati. (2019). Penjernihan Air Limbah Binatu (Laundry) Menggunakan Alat Sederhana. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research*, 23–24.
- Ngirfani, M. N., & Puspitarini, R. (2020). Potensi Tanaman Kangkung Air Dalam

- Memperbaiki Kualitas Limbah Cair Rumah Potong Ayam. *Bioma : Jurnal Biologi Dan Pembelajaran Biologi*, 5(1), 66–79. <https://doi.org/10.32528/bioma.v5i1.2897>
- Ningrum, Y. D., Ghofar, A., & Haeruddin, H. (2020). Efektivitas Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart.) Solm) sebagai Fitoremediator pada Limbah Cair Produksi Tahu Effectiveness of Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart.) Solm) as Phytoremediator for Tofu Production Liquid Waste. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 9(2), 97–106. <https://doi.org/10.14710/marj.v9i2.27765>
- Novita, E., Agustin, A., & Pradana, A. H. (2021). Pengendalian Potensi Pencemaran Air Limbah Rumah Pemotongan Ayam Menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Beberapa Jenis Tanaman Air (Komparasi antara Tanaman Eceng Gondok, Kangkung, dan Melati Air). *Agroteknika*, 4(2), 106–119. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i2.110>
- Park, Y. S., Engel, B. A., Frankenberger, J., & Hwang, H. (2015). A web-based tool to estimate pollutant loading using LOADEST. *Water (Switzerland)*, 7(9), 4858–4868. <https://doi.org/10.3390/w7094858>
- Seetha, H., Tiwari, V., Anugu, K. R., Makka, D. S., & Karnati, D. R. (2023). A GUI Based Application for PDF Processing Tools Using Python & CustomTkinter. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(1), 1613–1618. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.48848>
- Sitompul, T., Soetedjo, A., & Hendriarianti, E. (2024). *Aplikasi IoT Untuk Memonitoring Ph Dan Suhu Tanah Pada Proses Fitoremediasi Ipal Komunal*. 8, 410–416. www.unep.or.jp
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. (2020). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(1), 41–57. <https://doi.org/10.29122/jrl.v12i1.3658>
- Susanto, A., Zannah, M., Karyono Putro, E., Manuel, A. A., Yochu, W. E., & Mahlisa, R. (2024). *Penilaian Status Kualitas Air Baku untuk Air Minum di Area Concentrating Division PT Freeport Indonesia Assessment of Raw Water Quality Supplied for Potable Water in Concentrating Division of PT Freeport Indonesia Work Area*. 25(1), 88–93.
- Triana, A. N., & Ariana, M. (2023). Perancangan Biosand Filtration untuk Kualitas Air Berdasarkan Tekanan Pompa dari Limbah Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 242–249. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.991>