



BANGUN SISTEM MONITORING FILTRASI AIR KOLONG
BEKAS TAMBANG BERBASIS SENSOR pH, TDS, DAN
KEKERUHAN

Malihatul Mun'amah^{1*}, Husein Haikal¹, Sirlus Andreanto Jasman Duli¹, Yuke
Mareta Ariesta Sandra¹

¹Politeknik Manufaktur Negri Bangka Belitung, Sungailiat
Corresponding Author: malihapoltekt@gmail.com

ABSTRAK

Air kolong bekas tambang timah di Kepulauan Bangka Belitung umumnya memiliki pH rendah, kadar TDS tinggi, dan kekeruhan yang belum memenuhi baku mutu air bersih sesuai Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, sehingga diperlukan sistem pengolahan otomatis untuk memantau dan memperbaiki kualitasnya. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan filtrasi air kolong berbasis sensor pH-4502C, TDS Meter V1.0, dan turbidity AZDM01 yang terintegrasi dengan mikrokontroler Raspberry Pi Pico, dilengkapi dua tabung filtrasi (fisik dan kimia), mekanisme backwash otomatis berbasis solenoid valve, serta sistem closed loop. Metode penelitian menggunakan pendekatan R&D dengan unsur eksperimental. Hasil kalibrasi menunjukkan akurasi sensor pH dan TDS masing-masing mencapai 99,21% dan 99,07%. Pengujian pada tiga sampel air kolong menunjukkan akurasi rata-rata sensor pH 99,56% dan TDS 95,65%, sementara sensor turbidity mencatat penurunan kekeruhan konsisten 39,6–50,3% setelah tujuh tahap filtrasi. Sistem terbukti mampu memperbaiki kualitas air kolong secara progresif.

Kata Kunci: backwash otomatis, metode R&D, mikrokontroler, sistem closed loop, tambang timah.

ABSTRACT

Water in former tin-mining pits in the Bangka Belitung Islands generally has a low pH, high total dissolved solids (TDS), and turbidity levels that do not meet the clean water quality standards stipulated in Minister of Health Regulation of the Republic of Indonesia No. 2 of 2023. Therefore, an automated treatment system is required to monitor and improve water quality. This study aims to design a monitoring and filtration system for pit water based on pH-4502C, TDS Meter V1.0, and AZDM01 turbidity sensors integrated with a Raspberry Pi Pico microcontroller. The system is equipped with two filtration chambers (physical and chemical), an automatic backwash mechanism using a solenoid valve, and a closed-loop control system. The research employed a Research and Development (R&D) approach with an experimental component. Calibration results showed that the pH and TDS sensors achieved accuracies of 99.21% and 99.07%, respectively. Testing on three pit-water samples resulted in average sensor accuracies of 99.56% for pH

and 95.65% for TDS. Meanwhile, the turbidity sensor indicated a consistent reduction in turbidity of 39.6–50.3% after seven filtration stages. The system demonstrated its ability to progressively improve the quality of pit water.

Keywords: automatic backwash, R&D method, microcontroller, closed loop system, tin mine.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas pertambangan timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang telah berlangsung puluhan tahun meninggalkan banyak kolong bekas tambang berupa cekungan yang terisi air hujan maupun air tanah. Air kolong tersebut umumnya memiliki pH rendah cenderung asam, kadar Total Dissolved Solids (TDS) tinggi, dan tingkat kekeruhan tinggi akibat proses oksidasi mineral sulfida dan pelapukan mineral di sekitar area bekas tambang (Zulti, 2023). Kondisi ini membuat air kolong belum memenuhi baku mutu air bersih, meskipun demikian masyarakat sekitar tetap memanfaatkannya sebagai sumber air alternatif, terutama pada musim kemarau. Temuan ini sejalan dengan (Natasha and Adharini, 2024), yang mencatat bahwa pencemaran akibat aktivitas pertambangan dan industri menurunkan sifat fisika, kimia, dan biologis badan air di wilayah Bangka Belitung.

Sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan, air untuk keperluan higiene dan sanitasi disyaratkan memiliki pH 6,5-8,5, TDS maksimum 300 mg/L, dan kekeruhan maksimum 3 NTU. Ketiga parameter tersebut dipilih sebagai indikator utama pada penelitian ini karena mampu menggambarkan karakteristik fisik dan kimia air secara representatif serta mudah diukur secara elektronik menggunakan sensor pH, TDS, dan turbidity.

Sistem filtrasi konvensional umumnya hanya berfokus pada penyaringan fisik dan kimia tanpa dilengkapi pemantauan kualitas air secara real time, sehingga efektivitas pengolahan sulit dievaluasi secara berkelanjutan. Penelitian terdahulu terkait monitoring kualitas air berbasis mikrokontroler dan sensor pH serta TDS telah menunjukkan tingkat akurasi tinggi (Chuzaini and Dzulkifli, 2022), demikian pula penerapan tampilan TFT ILI9341 sebagai antarmuka pemantauan lokal (Prayoga and Nuralam, 2022). Namun demikian, kajian tersebut umumnya masih berfokus pada satu aspek pengolahan air saja, baik pengembangan media filtrasi (Lela Mukmilah Yuningsih, 2020), pemantauan berbasis sensor, maupun pemanfaatan kolong sebagai sumber air alternatif (Zulti, 2023), dan belum ada penelitian lebih lanjut yang mengintegrasikan filtrasi fisika dan kimia dengan monitoring real time, mekanisme backwash otomatis, serta sistem closed loop dalam satu kesatuan sistem.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem monitoring dan filtrasi air kolong bekas tambang timah yang terotomatisasi berbasis sensor pH, TDS, dan kekeruhan yang terintegrasi dengan mikrokontroler Raspberry Pi Pico. Sistem menerapkan dua tabung filtrasi yaitu fisik dan kimia dengan mekanisme backwash otomatis berbasis solenoid valve serta sistem closed loop yang mengalirkan kembali air ke jalur filtrasi apabila parameter kualitas belum memenuhi nilai acuan, sehingga air hasil olahan yang didistribusikan ke tangki penyimpanan akhir secara konsisten memenuhi standar yang ditetapkan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan metode rancang bangun serta unsur eksperimental pada tahap pengujian kinerja filter, karena dilakukan pengukuran terhadap variabel terikat berupa nilai pH, TDS, dan kekeruhan sebelum dan sesudah proses filtrasi sehingga efektivitas sistem dapat dianalisis secara kuantitatif deskriptif. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan *hardware*, perakitan *hardware*, pengujian sistem, serta analisis data. Skema penelitian digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 1.



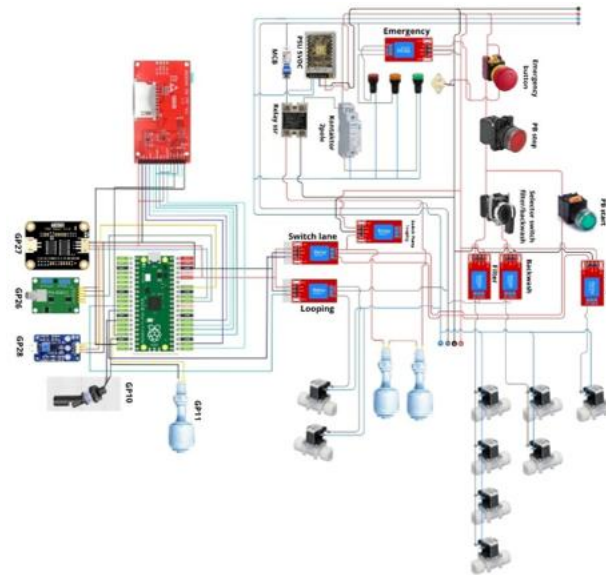
Gambar 1. *Flowchart*

Tahap pengumpulan data diawali dengan survei langsung ke lokasi kolong bekas tambang timah di Sungailiat, Jalan Pramuka, Parit Padang, untuk mengukur parameter awal pH, TDS, dan kekeruhan sebagai data *baseline*, dilanjutkan dengan studi literatur mengenai karakteristik air kolong, baku mutu air, serta sistem monitoring dan filtrasi berbasis mikrokontroler.

Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler Raspberry Pi Pico sebagai unit pengolah data sensor pH-4502C, TDS Meter V1.0, dan turbidity AZDM01. Data hasil pembacaan ditampilkan pada layar TFT SPI ILI9341 sebagai antarmuka HMI. Aktuator sistem terdiri atas pompa air, dua unit *solenoid valve*, serta modul *relay* SRD dan SSR yang mengatur jalur aliran pada tiga mode operasi yaitu filter, *backwash*, dan *monitoring*. Serta pengendalian pompa berbasis kombinasi sensor level dan logika mikrokontroler telah banyak diverifikasi efektif mencegah luapan tangki pada berbagai sistem otomasi sirkulasi air (Sumardi and Anggoro, 2016), sehingga pada penelitian ini diterapkan dua sensor *water level float switch* yang disusun berjenjang untuk mencegah *chattering* akibat riak permukaan air seperti pada penelitian (Harpawi, Triyani and Susantok, 2021) sebagai kendali ketinggian air pada tangki. Media filtrasi disusun berjenjang dalam dua tabung PVC berdiameter 4 inci tabung pertama berisi pasir vulkanik dan pasir silika sebagai filtrasi fisik yang terbukti efektif menurunkan kekeruhan serta kadar Fe dan Mn (Kurniawati, Santjoko and Husein, 2017), sedangkan tabung kedua berisi zeolit, *manganese greensand*, dan karbon aktif sebagai filtrasi kimia yang dilaporkan

efektif memperbaiki kualitas air asam tambang, sebagaimana penelitian oleh (Nugraha and Wikaningrum, 2022) serta (Sari, Cahyani and Sari, 2024).

Mekanisme *closed loop* bekerja dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai acuan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 yaitu pH 6,5-8,5, TDS < 300 ppm, kekeruhan < 3 NTU pada setiap siklus. Apabila seluruh parameter telah memenuhi nilai acuan, mikrokontroler membuka *solenoid valve* menuju tangki penyimpanan akhir sebaliknya, air dialirkan kembali ke jalur filtrasi awal untuk penyaringan ulang. Mekanisme backwash dijalankan dengan membalikkan arah aliran pompa menuju bagian atas tabung filter selama 3 menit per siklus untuk melepaskan kotoran yang terperangkap pada media filter tanpa pembongkaran manual. Keseluruhan jalur wiring antar komponen diilustrasikan pada gambar pada skematik rangkaian berikut.



Gambar 2. Skematik Rangkaian

Pengujian sistem yang dilakukan terdiri dari kalibrasi sensor dan pengujian efektivitas sensor. Kalibrasi sensor pH menggunakan larutan *buffer* standar pH 4,01, 6,86, dan 9,18, sedangkan kalibrasi sensor TDS menggunakan tiga sampel air kolong dengan konsentrasi 42, 107, dan 313 ppm yang telah diukur menggunakan TDS meter standar. Pengujian efektivitas filtrasi dilakukan terhadap tiga sampel air kolong berbeda A, B, dan C pada dua kondisi suhu operasi 28,1 °C dan 30,4 °C, dengan mengamati perubahan nilai pH, TDS, dan kekeruhan pada setiap siklus looping siklus ke-0 hingga ke-9. Tingkat akurasi pembacaan sensor dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{referensi}}}{X_{\text{referensi}}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Error}$$

Xsensor adalah nilai yang dibaca sensor dan Xreferensi adalah nilai alat ukur standar terkalibrasi yaitu pH meter dan TDS meter. Data akurasi dan persentase penurunan parameter kualitas air selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi kinerja sensor serta efektivitas mekanisme *closed loop* dan *backwash*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem disajikan dalam tiga tahap yaitu kalibrasi sensor terhadap alat ukur standar, efektivitas sensor pada sampel air kolong, serta pengujian kinerja mekanisme *closed loop* dan *backwash*. Ketiga tahap ini digunakan untuk menilai sejauh mana sistem yang dirancang mampu memantau dan memperbaiki kualitas air kolong sesuai baku mutu Permenkes RI No. 2 Tahun 2023.

A. Kalibrasi Sensor pH dan TDS

Hasil kalibrasi menunjukkan sensor pH-4502C memiliki tingkat akurasi rata-rata 99,21% dengan error rata-rata 0,79% terhadap pH meter standar pada tiga larutan buffer, sedangkan sensor TDS Meter V1.0 memiliki akurasi rata-rata 99,07% dengan error rata-rata 0,93% terhadap TDS meter standar pada tiga sampel air kolong dengan konsentrasi 42, 107, dan 313 ppm. Ringkasan hasil kalibrasi dan pengujian akurasi sensor pada sampel air kolong nyata disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Akurasi Kalibrasi dan Pengujian Sensor

Parameter	Akurasi Kalibrasi (%)	Akurasi Pengujian Sampel (%)
pH (pH-4502C)	99,21	99,56
TDS (TDS Meter V1.0)	99,07	95,65
Turbidity (AZDM01)	-	Penurunan 39,6-50,3%

B. Efektivitas Sensor pada Pengujian Sampel Air Kolong

Pengujian pada tiga sampel air kolong A, B, dan C menunjukkan pH air meningkat secara konsisten dari rentang asam 6,20-6,52 pada kondisi tanpa filter menjadi mendekati netral 6,65-6,89 setelah tujuh siklus filtrasi, dengan akurasi sensor pH terhadap pH meter standar mencapai rata-rata 99,56 % dengan error 0,44 %. Variasi suhu pengukuran pada rentang 28 °C - 30,4 °C menunjukkan pengaruh yang sangat kecil terhadap pembacaan sensor, mengindikasikan mekanisme kompensasi suhu pada perangkat lunak sistem telah bekerja efektif. Hasil ini konsisten dengan penelitian (Chuzaini and Dzulkifli, 2022) yang melaporkan akurasi sensor pH-4502 C sebesar 99,71 % pada lima lokasi pengujian selisih akurasi sebesar 0,15 % pada penelitian ini dikarenakan oleh karakteristik kimiawi air kolong yang lebih ekstrem akibat kandungan logam terlarut hasil oksidasi mineral sulfida.

Sensor TDS Meter V1.0 menunjukkan akurasi rata-rata 95,65 % dengan error 4,35 % pada pengujian sampel air kolong, sedikit lebih rendah dibandingkan hasil kalibrasi 99,07 %, dengan pola penyimpangan sistematis berupa *overestimation* pada seluruh titik pengukuran. Penyimpangan ini konsisten disebabkan oleh perbedaan komposisi ion terlarut pada air kolong dibandingkan larutan kalibrasi pabrik, namun besarnya masih berada di bawah ambang toleransi umum sensor elektronik komersial 5 %, sehingga sensor dinyatakan layak digunakan sebagai instrumen monitoring.

Sensor turbidity AZDM01 menunjukkan penurunan kekeruhan yang konsisten pada seluruh sampel, yaitu 47,4 % - 48,0 % pada sampel A, 39,6 % - 41,2 % pada sampel B, dan 50,3 % pada sampel C setelah tujuh tahap filtrasi. Hasil pengujian filter air kolong dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Hasil Filter Air Kolong A



Gambar 4. Hasil Filter Air Kolong B



Gambar 5. Hasil Filter Air Kolong C

4. KESIMPULAN

Sistem monitoring dan filtrasi air kolong bekas tambang timah berbasis sensor pH, TDS, dan kekeruhan berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe menggunakan mikrokontroler Raspberry Pi Pico, dua tabung filtrasi fisika kimia, mekanisme *backwash* otomatis berbasis *solenoid valve*, serta sistem *closed loop*. Sensor pH-4502C dan sensor TDS Meter V1.0 masing-masing menunjukkan akurasi tinggi, yaitu 99,21 % dan 99,07 % pada tahap kalibrasi, serta 99,56 % dan 95,65 % pada pengujian sampel air kolong nyata, sedangkan sensor *turbidity* AZDM01 menunjukkan penurunan kekeruhan konsisten sebesar 39,6 % - 50,3 % setelah tujuh tahap filtrasi meskipun nilainya masih bersifat indikator relatif. Sistem

terbukti mampu meningkatkan pH air kolong dari kondisi asam menuju mendekati netral serta menurunkan kadar TDS dan kekeruhan secara progresif melalui mekanisme *closed loop* otomatis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian, kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingan yang diberikan, serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung terselesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chuzaini, F. and Dzulkiflih (2022) 'IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu , pH , Dan Total Dissolved Solids (TDS)', Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI), 11(3), pp. 46–56. Available at: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/view/48240>.
- Harpawi, N., Triyani, Y. and Susantok, M. (2021) 'Penerapan Voltage Level Detector (VLD) With Hysteresis Untuk Kontrol Level Air', Jurnal Elektro dan Mesin Terapan, 7(2), pp. 127–135. Available at: <https://doi.org/10.35143/elementer.v7i2.4448>.
- Kurniawati, S.D., Santjoko, H. and Husein, A. (2017) 'Pasir Vulkanik sebagai Media Filtrasi dalam Pengolahan Air Bersih Sederhana untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Kekeruhan Air Sumur Gali', Jurnal Kesehatan Lingkungan, 9(1), pp. 20–25. Available at: <http://journalsanitasi.keslingjogja.net/index.php/sanitasi%0AVol>.
- Lela Mukmilah Yuningsih (2020) 'Kinerja Filter Pasir Lambat Dalam Menurunkan Fe Dan Mn', Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik, 11(1), pp. 98–106. Available at: <https://doi.org/10.26874/jt.vol11no1.335>.
- Natasha, R.A. and Adharini, R. (2024) 'Analisis Tingkat Pencemaran Air Sungai Rangkui Kota Pangkalpinang Kepulauan Bangka Belitung Berdasarkan Status Mutu Air', Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(6), pp. 1652–1662. Available at: <https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1652-1662>.
- Nugraha, M.P. and Wikaningrum, T. (2022) 'The Study of Improving Acid Mine Water Quality by Manganese Greensand and Activated Carbon Filtration', Serambi Engineering, 7(2), pp. 2938–2947. Available at: <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/index>.
- Prayoga, D.Y. and Nuralam (2022) 'Pemodelan Akuisisi Data Sistem Monitoring Kualitas Air Budidaya Pembenihan Ikan Kerapu', Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI), 8(2), pp. 71–76. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.19184/jaei.v8i3.33656>.
- Sari, S.W., Cahyani, S.D. and Sari, D. (2024) 'Efektivitas Pengelolaan Air Bersih Menggunakan Metode Filtrasi dengan Media Zeolit dan Karbon Aktif Terhadap Derajat Keasaman (pH) dan Kesadahan (CaCO₃) Serta Daya Tahan Filtrasi', Jurnal Kesehataqn Tambusai, 5(3), pp. 9176–9186. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jkt.v5i3.32195>.
- Sumardi and Anggoro, M.N. (2016) 'Sistem Kontrol Pengisian Air Otomatis dengan Dua Sumber Suplai Berbasis Mikrokontroler (ATmega 8535)',

- Jurnal Dinamika UMT, 1(2), pp. 84–97. Available at: <https://doi.org/10.31000/dinamika.v1i2.580>.
- Zulti, F. (2023) 'Kinerja Adsorben Zeolit untuk Meningkatkan Kualitas Air Kolong Bekas Tambang Timah', JST (Jurnal Sains dan Teknologi), 12(2), pp. 396–402. Available at: <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.44129>.