

REAL-TIME DATA MONITORING SYSTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI PT TIRTA FRESINDO JAYA (MAYORA GROUP) PLANT CIHERANG

Adam Rizki Maulana

Teknik Elektro

Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl.KH Soleh Iskandar Km 2, Bogor, Kode Pos
16162

email : adamrizki51@gmail.com

Muhidin

Teknik Elektro

Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl.KH Soleh Iskandar Km 2, Bogor, Kode Pos
16162

email: muhidin362@gmail.com

Abstract – Berkeembangnya jaman berdampak pada berbagai sektor kehidupan. Otomasi adalah salah satu evolusi teknologi yang menarik banyak industri dan aplikasi. Berkembangnya industri menyebabkan potensi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu sistem yang tepat harus dirancang untuk menguji dan memonitoring kualitas air yang akan dibuang ke lingkungan hal itu diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam penelitian ini, telah dirancang dan direalisasikan alat real-time monitoring system pada pengolahan air limbah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pembuatan bentuk fisis, kalibrasi sensor dan pengujian kinerja sistem. Pembuatan bentuk fisis merupakan tahap pembuatan panel kendali, wiring pada sistem, serta program mikrokontroler. Kalibrasi sensor merupakan proses konversi nilai yang dikeluarkan oleh modul sensor (tegangan) menjadi nilai pH, suhu dan TSS dengan menggunakan acuan standar yang tertelusur. Pengukuran kinerja sistem adalah pengujian kinerja alat di lapangan. Sistem dibangun menggunakan kontrol otomatis yang algoritmanya sudah ditanamkan pada microcontroller WEMOS D1 mini dan ESP8266. Sistem menggunakan LCD untuk menampilkan data hasil pengukuran secara real-time pada box kendali dan menggunakan router untuk monitoring pengukuran tanpa kabel (LAN) pada PC/Smartphone. Hasil kalibrasi pada sensor pH dan suhu menunjukkan hasil yang linear, sedangkan sensor TSS tidak linear. Berdasarkan pengujian di lapangan periode 12 September 2022 sampai 15 September 2022, sensor pH memiliki persentase error sebesar 0,49% dengan akurasi pengukuran sebesar 99,51%, selanjutnya sensor suhu memiliki persentase error sebesar 0,24% dengan akurasi pengukuran sebesar 99,76%, dan terakhir sensor TSS memiliki persentase error sebesar 9,61% dengan akurasi pengukuran sebesar 90,31%. Kinerja sistem secara keseluruhan baik, dengan alat dapat monitoring pengukuran secara *real-time* sesuai dengan tujuan penelitian. Pengukuran sensor pH dan suhu sangat baik dengan persentase error tidak lebih dari 5%, untuk

sensor TSS belum maksimal karena persentas error lebih dari 5%

Keywords: kualitas air limbah, real-time monitoring, mikrokontroler, kalibrasi

I. LATAR BELAKANG

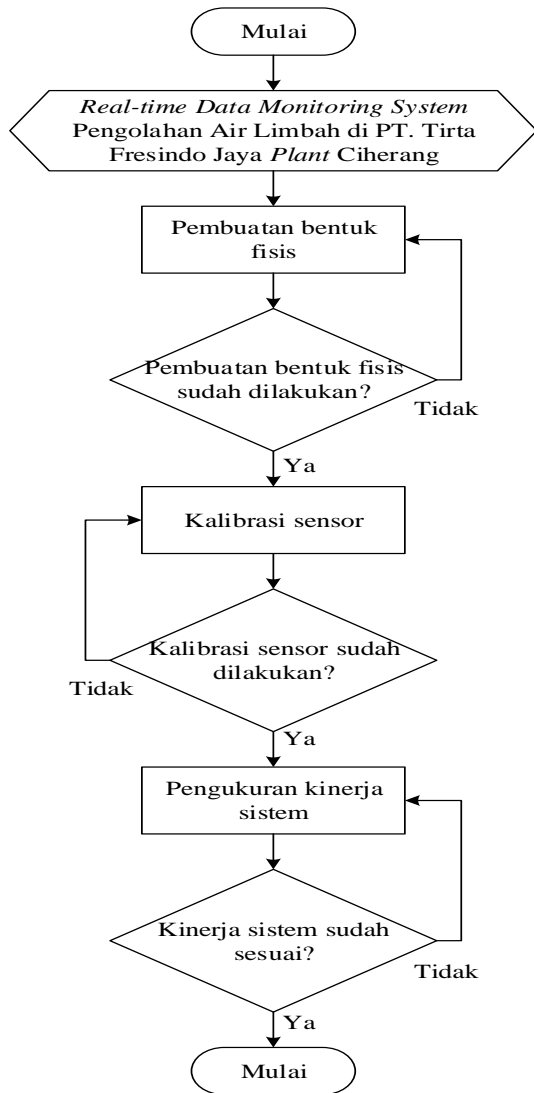
Karena peningkatan pesat dalam populasi dan pertumbuhan eksponensial di sektor industri menyebabkan penggunaan air di tingkat yang luas [1]. Limbah dari rumah tangga, industri, dan berbagai sektor dibuang kembali ke sungai. Sektor industri wajib memiliki sistem pengolahan limbah air agar limbah yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan/sungai. Oleh karena itu sistem yang tepat harus dirancang untuk menguji dan memonitoring kualitas air yang akan dibuang ke lingkungan [1]. Hal itu diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [2]. Air limbah adalah air yang sudah tak terpakai dari hasil kegiatan rumah tangga, industri, atau tempat umum lainnya, yang mengandung zat berbahaya bagi manusia dan lingkungan hidup [3]. Karena itu, pengolahan air limbah harus mendapat perhatian serius demi terciptanya kesehatan lingkungan. *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah rangkaian proses yang dilakukan untuk menghilangkan zat organik dan anorganik dari air, sehingga air dapat digunakan kembali [4].

Otomasi adalah salah satu evolusi teknologi yang menarik banyak industri dan aplikasi [1]. *Internet of things* merupakan sebuah konsep di mana suatu benda atau objek ditanamkan teknologi-teknologi seperti sensor dan *software* dengan tujuan untuk berkomunikasi, mengendalikan,

menghubungkan, dan bertukar data melalui perangkat lain selama masih terhubung ke internet [10]. Dalam penilaian kualitas air, metode yang terlibat untuk memeriksa kualitas air harus ditingkatkan agar lebih efisien. Sejauh ini tidak ada sistem pemantauan kualitas air secara *real-time* pada *Dissolve Air Flotation* (DAF) pengolahan air limbah di PT. Tirta Fresindo Jaya. *Dissolve Air Flotation* (DAF) sendiri merupakan metode untuk memisahkan zat atau bahan pencemar seperti minyak/lemak, padatan tersuspensi, dsb. dari air dengan bantuan dari gelembung udara. Sistem pemantauan *Dissolve Air Flotation* (DAF) saat ini menggunakan metode *sampling* air setiap empat jam sekali untuk dicek parameternya di laboratorium.

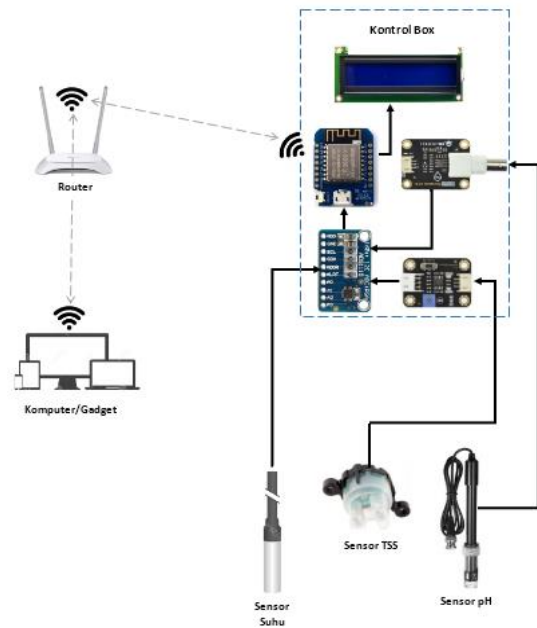
II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berupa algoritma yang dibuat dalam bentuk diagram alir. Diagram alir pelaksanaan penelitian, seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Berikut merupakan diagram *skematik real-time data monitoring system* pengolahan air limbah, seperti yang ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. diagram skematik real-time data monitoring system pengolahan air limbah

Alat bekerja dengan sensor membaca parameter kualitas air di DAF, yang kemudian data sensor disambungkan ke modul analog to digital converter (ADC) ADS1115. Setelah konversi oleh ADC data dikirim secara digital ke mikrokontroler Wemos D1 ESP8266. Kemudian hasil pengukuran alat disimpan, ditampilkan pada LCD, dan dikirim oleh mikrokontroler melalui jaringan lokal (LAN) ke smartphone/PC.

A. Pembuatan Bentuk Fisis

Bentuk fisis real-time monitoring system kualitas air Dissolve Air Flotation (DAF) pengolahan air limbah, dilakukan melalui (i) Pembuatan box kendali dan dudukan sensor; (ii) Pengawatan pada sistem mikrokontroler; (iii) Pemrograman sistem mikrokontroler; dan (iv) Pemrograman web server.

Fisis monitoring system kualitas air pada pengolahan air limbah terdiri dari dua bagian, yaitu (i) panel kendali, menggunakan box hitam ukuran 120mm x 85mm x 50mm untuk menaruh semua komponen yang dibutuhkan; (ii) dudukan sensor pH, sensor TSS, dan sensor suhu yang terbuat dari toples hitam dengan diameter 85mm x 100mm. Bentuk fisis panel kendali dan dudukan sensor, seperti ditunjukkan Gambar 3.



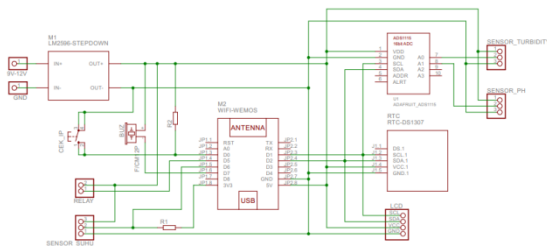
Gambar 3. Bentuk fisis panel kendali dan dudukan sensor

Pemasangan sejumlah komponen pada sistem pemantauan kualitas air limbah, seperti ditunjukkan Gambar 4.



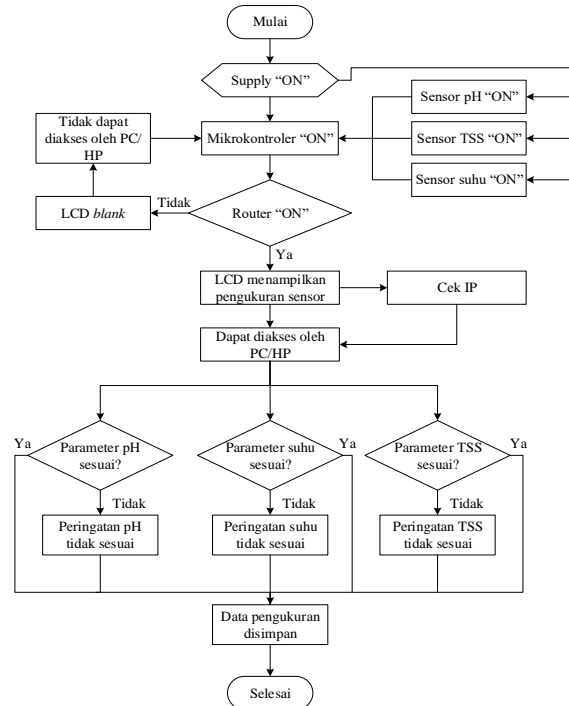
Gambar 4. Pemasangan sejumlah komponen pada sistem pemantauan kualitas air limbah

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, bahwa komponen-komponen pada sistem pemantauan kualitas air limbah, meliputi (i) Mikrokontroler Wemos D1 ESP8266; (ii) modul sensor pH meter; (iii) modul sensor TSS; (iv) LM2596 step-down; (v) Modul relay 5VDC; (vi) modul RTC-DS 1307; (vii) modul ADC (analog to digital converter) ADS1115; dan (viii) LCD display 16x2. Detail koneksi antar komponen dapat dilihat pada diagram pengawatan, ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Diagram pengawatan

Pemrograman mikrokontroler Wemos D1 mini menggunakan software Arduino IDE yang dapat diunduh pada website resmi arduino. Pemrograman mikrokontroler dilakukan melalui penentuan algoritma untuk sistem pemantauan kualitas air pada pengolahan air limbah. Algoritma pemrograman sistem pemantauan kualitas air pada pengolahan limbah seperti ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Algoritma pemrograman sistem pemantauan kualitas air pada pengolahan limbah

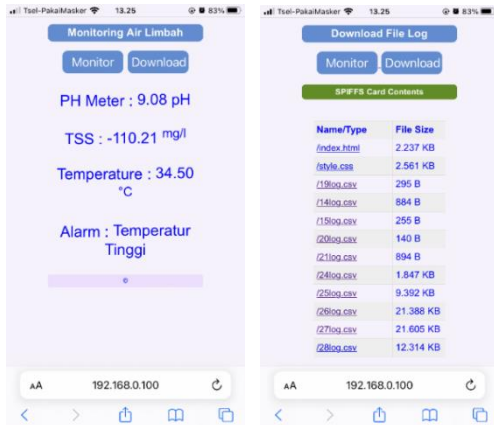
Algoritma pemrograman seperti ditunjukkan Gambar 6 kemudian menjadi acuan dalam proses pemrograman mikrokontroler. Perolehan program ditindaklanjuti dengan compiling dan uploading dari PC ke mikrokontroler berbantuan konektor micro USB. Setelah program di-upload ke dalam board mikrokontroler kemudian LCD dapat menampilkan pengukuran, seperti ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan LCD

Untuk menampilkan pengukuran secara real-time pada PC/Smartphone diperlukan dokumen HTML. Dokumen HTML akan memberikan tanggapan dalam bentuk situs web (webpage). Saat mengakses situs web, browser akan mengirim permintaan ke alamat server yang dituju. Pemrograman web server menggunakan software Visual Studio Code.

Tampilan pengukuran pada situs web dapat berbeda sesuai dengan dokumen HTML yang dibuat. Tampilan pengukuran pada PC/Smartphone sistem pemantauan air pada pengolahan air limbah, seperti ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan pengukuran pada PC/Smartphone sistem pemantauan air pada pengolahan air limbah

B. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi merupakan kondisi tertentu untuk menentukan tingkat kesamaan nilai yang diperoleh dari sebuah alat atau sistem ukur, atau nilai yang direpresentasikan dari pengukuran bahan dan membandingkannya dengan nilai yang telah diketahui dari suatu acuan standar [5]. Tujuan dilakukan program kalibrasi adalah memberikan kepercayaan bahwa pengukuran yang dilakukan di laboratorium tersebut relevan dan tertelusur ke standar (nasional/internasional), atau bahan acuan bersertifikat [5].

Kalibrasi disini berguna untuk membandingkan keluaran sensor yang memiliki karakteristik linier (jika dilihat melalui grafik garis) terhadap nilai standar [6]. Hasil kalibrasi dapat digunakan untuk mengkonversi keluaran sensor menjadi seperti nilai standar [6].

Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan pembacaan pH, suhu, dan Total Suspended Solid (TSS) alat dengan pembacaan pH, suhu, dan Total Suspended Solid (TSS) yang terdapat di laboratorium yang sudah terkalibrasi dan terjamin akurasinya. Proses perbandingan dilakukan di laboratorium dengan metode perbandingan langsung. Nilai terukur alat berupa tegangan, kemudian dicatat dan dikonversi menggunakan regresi linear untuk diketahui persamaan nilainya.

Pengukuran pH, sensor yang digunakan adalah pH meter kit merek DFROBOT dengan SKU: SEN0161[7]. Tampilan pH meter kit DFROBOT seperti ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan pH meter kit DFROBOT

Sensor pH DFROBOT memiliki spesifikasi diantaranya (i) kapasitas pembacaan 0-14 pH; (ii) suhu penggunaan 0-60 °C, (iii) output analog 0-5 VDC; dan (iv) akurasi pengukuran $\pm 0,1$ pH pada suhu 25 °C [7]. Berdasarkan detail spesifikasi tersebut, sensor idealnya akan mengeluarkan tegangan 0V pada pH 0 dan mengeluarkan tegangan 5V pada pH 14. Kalibrasi dilakukan menggunakan cairan standar pH (buffer pH) merek Mettler Toledo yang telah tersertifikasi. Nilai pH standar yang digunakan diantaranya (i) pH 4.01; (ii) pH 7.00; dan (iii) pH 9.21. Acuan dalam penggunaan nilai standar yaitu rentang ukur alat, dimana alat ukur pH di lapangan mengukur nilai 6.00-9.00 pH (parameter standar pH pada DAF).

Pengukuran suhu pada alat monitoring pengolahan air limbah menggunakan sensor suhu DS18B20 memiliki akurasi pengukuran 0,5°C, suhu pengoperasian sebesar -55°C-125°C [9]. Tampilan sensor suhu DS18B20, seperti ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan sensor suhu DS18B20

Untuk sensor suhu tidak perlu konversi nilai tegangan seperti sensor pH dan TSS. Metode yang digunakan adalah perbandingan langsung dengan temperature calibrator merek Fluke 724.

Pengukuran TSS menggunakan sensor Analog Turbidity Sensor merek DFROBOT dengan SKU: SEN0189 [8]. Tampilan Analog Turbidity Sensor DFROBOT, seperti ditunjukkan Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Analog Turbidity Sensor DFROBOT

Analog Turbidity Sensor DFROBOT memiliki spesifikasi, diantaranya (i) voltsase pengoperasian 5V; (ii) waktu respon <500ms; dan (iii) analog output 0-4,5V [8]. Berdasarkan detail spesifikasi idealnya alat akan memiliki keluaran tegangan yang linear dari 0-4,5V. Kalibrasi dilakukan dengan metode perbandingan langsung, dengan menyiapkan 3 sampel yang akan diukur nilai TSS dengan alat standar (acuan) yang ada di laboratorium.

C. Pengukuran Kinerja Sistem

Pengukuran kinerja sistem pemantauan Disolve Air Flotation (DAF) pengolahan air limbah, dilakukan berdasarkan hasil pembacaan secara real-time alat yang dilakukan di PT. Tirta Fresindo Jaya Plant Ciherang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalibrasi Sensor

Proses kalibrasi sensor dilakukan untuk menyesuaikan nilai dari sensor pH, sensor suhu, dan sensor TSS dengan acuan standar yang tertelusur ke satuan SI dan terjamin akurasinya. Metode yang digunakan dalam kalibrasi sensor pH, sensor suhu, dan sensor TSS adalah perbandingan langsung.

Kalibrasi pH dilakukan dengan 4 variasi suhu karena pengukuran pH sensitif terhadap suhu. Berikut tabel pengaruh suhu terhadap pembacaan pH berdasarkan sertifikat kalibrasi buffer standar.

Tabel 1. Pengaruh suhu terhadap pembacaan pH berdasarkan sertifikat kalibrasi buffer standar

Suhu (°C)	pH 4,01	pH 7,00	pH 9,21
15	4,00	7,04	9,32
20	4,00	7,02	9,26
25	4,01	7,00	9,21
30	4,01	6,99	9,16
35	4,02	6,98	9,11
40	4,03	6,97	9,06
45	4,04	6,97	9,03

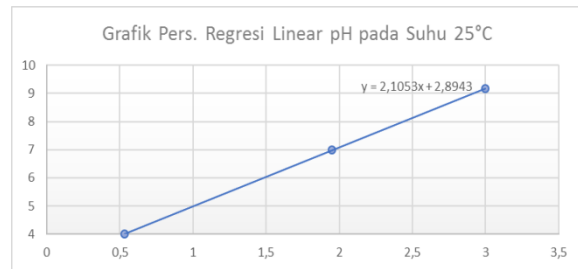
Pengambilan data dilakukan setelah suhu cairan sesuai dengan set point. Setiap satu standar pH akan memiliki 4 nilai tegangan sesuai dengan suhu yang digunakan. Tabel 2 merupakan hasil pengukuran tegangan keluaran sensor terhadap standar pH dan variasi suhu.

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor terhadap standar pH dan variasi suhu

pH	Tegangan (V)			
	Temp 25°C	Temp 30°C	Temp 35°C	Temp 40°C
4,01	0,53	0,52	0,5	0,49
7	1,95	1,94	1,94	1,93
9,21	3	2,99	2,99	2,98

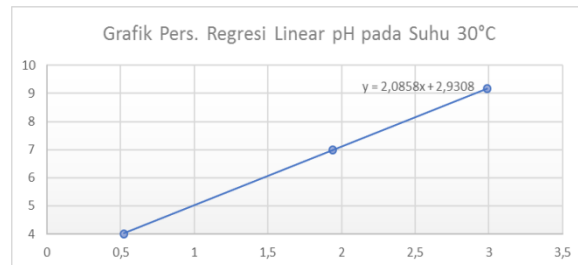
Berdasarkan tabel diatas ditunjukkan bahwa untuk konversi nilai tegangan menjadi nilai pH dilakukan 4 kali perhitungan persamaan yaitu pada suhu 25°C, 30°C, 35°C, dan 40°C. Masing-masing suhu memiliki persamannya sendiri karena pada tabel pengukuran terlihat bahwa semakin tinggi suhu maka semakin rendah tegangan keluaran sensor. Perhitungan pertama, menggunakan persamaan regresi linear pada excel, pada suhu 25°C didapatkan hasil persamaan Y

= 2,8943 + 2,1053X. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 25°C, ditunjukkan Gambar 12.



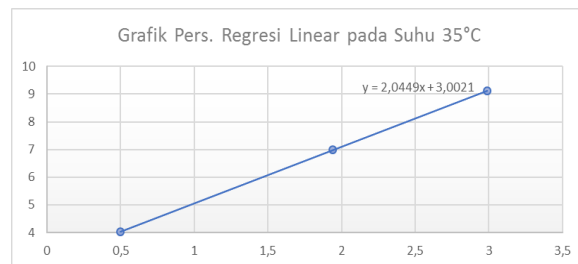
Gambar 12. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 25°C

Perhitungan ke-2 adalah hasil pengukuran yang dilakukan dengan parameter suhu 30°C. Setelah dihitung menggunakan persamaan regresi linear pada excel, pada suhu 30°C didapatkan hasil persamaan Y = 2,9308 + 2,0858X. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 30°C, ditunjukkan Gambar 13.



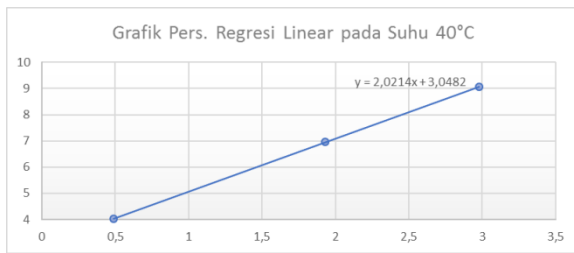
Gambar 13. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 30°C

Perhitungan ke-3 adalah hasil pengukuran yang dilakukan dengan parameter suhu 35°C. Setelah dihitung menggunakan persamaan regresi linear pada excel, pada suhu 35°C didapatkan hasil persamaan Y = 3,0021 + 2,0449X. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 35°C, ditunjukkan Gambar 14.



Gambar 14. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 35°C

Perhitungan ke-4 adalah hasil pengukuran yang dilakukan dengan parameter suhu 40°C. Setelah dihitung menggunakan persamaan regresi linear pada excel, pada suhu 40°C didapatkan hasil persamaan Y = 3,0482 + 2,0214X. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 40°C, ditunjukkan Gambar 15.



Gambar 15. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada suhu 40°C

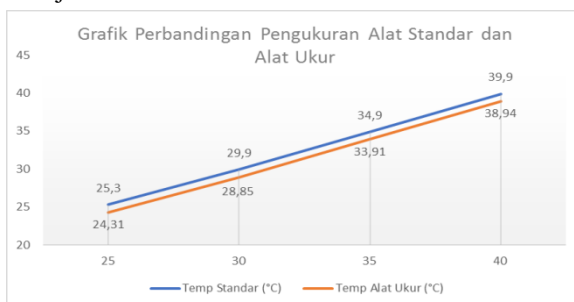
Setelah dilakukan proses kalibrasi pH selanjutnya adalah kalibrasi sensor suhu. Titik ukur kalibrasinya adalah 25°C-40°C mengikuti rentang kalibrasi pH meter terhadap variasi suhu. Hasil kalibrasi sensor suhu, ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil kalibrasi sensor suhu

Titik Ukur (°C)	Temp Standar (°C)	Temp Alat Ukur (°C)	Selisih (°C)
25	25,3	24,31	0,99
30	29,9	28,85	1,05
35	34,9	33,91	0,99
40	39,9	38,94	0,96

rata-rata 0,9975

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan bahwa hasil perhitungan rata-rata selisih pengukuran suhu standar dan suhu alat ukur adalah 0,9975°C. Karena hasil selisih pengukuran pada setiap suhu hampir sama maka dilakukan penyesuaian pada program dimana hasil pengukuran alat ditambahkan dengan nilai selisih yaitu 0,9975°C. Grafik diagram garis perbandingan nilai pengukuran alat standar dan alat ukur, seperti ditunjukkan Gambar 16.



Gambar 16. Grafik diagram garis perbandingan nilai pengukuran alat standar dan alat ukur

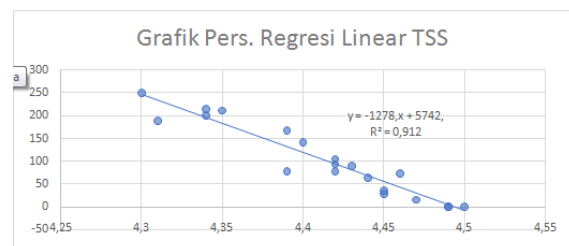
Lalu kalibrasi sensor TSS, nilai TSS yang digunakan dalam pengujian berkisar antara 0-250 mg/l. Setelah hasil didapat sampel dibaca oleh sensor yang keluarannya berupa tegangan. Data pengukuran sampel TSS pada alat, seperti ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4. Data pengukuran sampel TSS

Voltase (V)	TSS Standar (mg/l)	Voltase (V)	TSS Standar (mg/l)
4,49	0	4,44	64
4,3	250	4,42	105

4,5	0	4,35	211
4,42	93	4,34	215
4,46	73	4,49	0
4,42	78	4,45	29
4,43	90	4,47	16
4,34	201	4,39	78
4,39	168	4,4	142
4,45	36	4,31	189

Setelah dihitung menggunakan persamaan regresi linear pada excel, didapatkan hasil persamaan $Y = 5742,65 - 1278,21X$. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada sensor TSS, ditunjukkan Gambar 17.



Gambar 17. Grafik diagram pencar perhitungan persamaan regresi linear pada sensor TSS

B. Pengukuran Kinerja Sistem

Pengukuran kinerja sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem bekerja secara optimal dan mengukur sistem bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Selain itu juga pada tahap ini dijelaskan proses pengukuran sensor apabila diaplikasikan langsung pada Dissolve Air Floatation (DAF) pada pengolahan air limbah. Pemasangan dilakukan pada tanggal 25 Juni 2022, pengambilan data dilakukan selama 4 hari dari tanggal 12 September 2022 sampai tanggal 15 September 2022. Peletakkan alat pada Dissolve Air Floatation (DAF), seperti ditunjukkan Gambar 18.



Gambar 18. Peletakkan alat pada Dissolve Air Floatation (DAF)

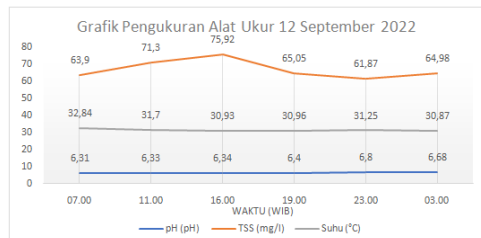
Mekanisme kerjanya dengan menarik air limbah menggunakan pompa yang kemudian air dimasukkan kedalam wadah hitam untuk menampung air dan terdapatudukan sensor di atasnya, apabila air sudah sampai ketinggian tertentu otomatis air akan keluar melalui selang yang ada pada wadah. Untuk pengambilan sampel dilakukan setiap 4 jam menyesuaikan waktu pengecekan sampel pada

laboratorium. Data pengukuran alat pada tanggal 12 September 2022, seperti ditunjukkan tabel 5.

Tabel 5. Data pengukuran alat pada tanggal 12 September 2022

No	Waktu (WIB)	Pengukuran Alat Ukur		
		pH (pH)	TSS (mg/l)	Suhu (°C)
1	07.00	6,31	63,90	32,84
2	11.00	6,33	71,30	31,70
3	16.00	6,34	75,92	30,93
4	19.00	6,40	65,05	30,96
5	23.00	6,80	61,87	31,25
6	03.00	6,68	64,98	30,87

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan hasil pengukuran alat yang dilakukan setiap 4 jam dimulai dari pukul 7.00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Grafik diagram garis pengukuran alat ukur, seperti ditunjukkan Gambar 21.



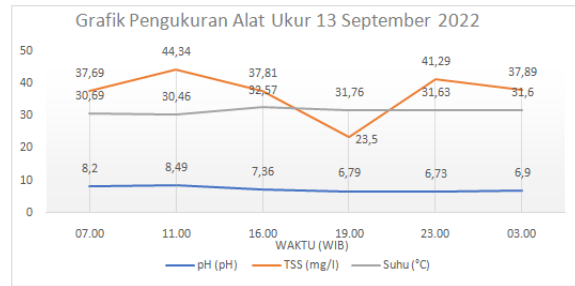
Gambar 21. Grafik diagram garis pengukuran alat ukur

Berdasarkan Gambar 21 ditunjukkan grafik diagram garis pengukuran alat ukur dengan variabel pH (pH), TSS (mg/l), Suhu (°C) dan waktu. Data pengukuran alat pada tanggal 13 September 2022, seperti ditunjukkan tabel 6.

Tabel 6. Data pengukuran alat pada tanggal 13 September 2022

No	Waktu (WIB)	Pengukuran Alat Ukur		
		pH (pH)	TSS (mg/l)	Suhu (°C)
1	07.00	8,20	37,69	30,69
2	11.00	8,49	44,34	30,46
3	16.00	7,36	37,81	32,57
4	19.00	6,79	23,50	31,76
5	23.00	6,73	41,29	31,63
6	03.00	6,90	37,89	31,60

Berdasarkan Tabel 6 ditunjukkan hasil pengukuran alat yang dilakukan setiap 4 jam dimulai dari pukul 7.00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Grafik diagram garis pengukuran alat ukur, seperti ditunjukkan Gambar 3.22.



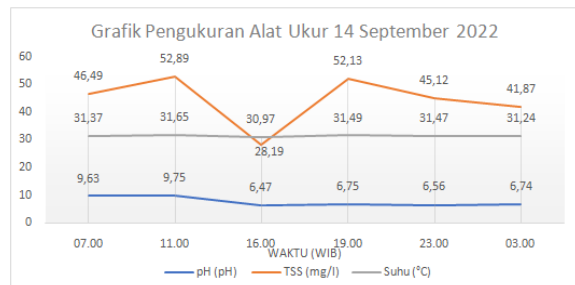
Gambar 22. Grafik diagram garis pengukuran alat ukur

Berdasarkan Gambar 22 ditunjukkan grafik diagram garis pengukuran alat ukur dengan variabel pH (pH), TSS (mg/l), Suhu (°C) dan waktu. Data pengukuran alat pada tanggal 14 September 2022, seperti ditunjukkan tabel 7.

Tabel 7. Data pengukuran alat pada tanggal 14 September 2022

No	Waktu (WIB)	Pengukuran Alat Ukur		
		pH (pH)	TSS (mg/l)	Suhu (°C)
1	07.00	9,63	46,49	31,37
2	11.00	9,75	52,89	31,65
3	16.00	6,47	24,97	30,97
4	19.00	6,75	52,13	31,49
5	23.00	6,56	45,12	31,47
6	03.00	6,74	41,87	31,24

Berdasarkan Tabel 7 ditunjukkan hasil perbandingan pengukuran alat yang dilakukan setiap 4 jam dimulai dari pukul 7.00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Grafik diagram garis pengukuran alat ukur, seperti ditunjukkan Gambar 23.



Gambar 23. Grafik diagram garis pengukuran alat ukur

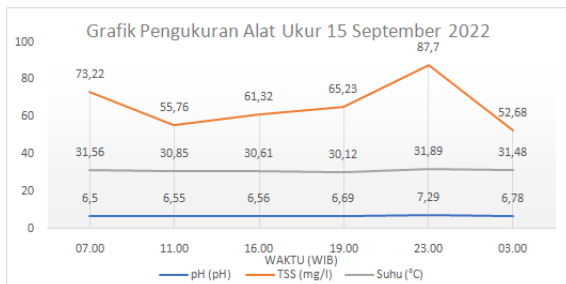
Berdasarkan Gambar 23 ditunjukkan grafik diagram garis pengukuran alat ukur dengan variabel pH (pH), TSS (mg/l), Suhu (°C) dan waktu. Data pengukuran alat pada tanggal 15 September 2022, seperti ditunjukkan tabel 8.

Tabel 8. Data pengukuran alat pada tanggal 15 September 2022

No	Waktu (WIB)	Pengukuran Alat Ukur		
		pH (pH)	TSS (mg/l)	Suhu (°C)
1	07.00	6,50	73,22	31,56
2	11.00	6,55	55,76	30,85

3	16.00	6,56	61,32	30,61
4	19.00	6,69	65,23	30,12
5	23.00	7,29	87,70	31,89
6	03.00	6,78	52,68	31,48

Berdasarkan Tabel 8 ditunjukkan hasil pengukuran alat yang dilakukan setiap 4 jam dimulai dari pukul 7.00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Grafik diagram garis pengukuran alat ukur, seperti ditunjukkan Gambar 24.



Gambar 24. Grafik diagram garis pengukuran alat ukur

Setelah dilakukan perbandingan data pengukuran alat ukur dan alat di laboratorium, didapatkan persentase error pada sensor pH sebesar 0,49%, sensor suhu sebesar 0,24%, dan sensor TSS sebesar 9,61%. Dengan persentase error yang sudah diketahui maka didapatkan akurasi pengukuran pH sebesar 99,51%, pengukuran suhu sebesar 99,76% dan pengukuran TSS sebesar 90,39%. Karena persentase error yang diizinkan pada perusahaan maksimal 5% maka pengukuran sensor TSS masih belum layak digunakan pada industri.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat diambil kesimpulan sesuai dengan sasaran penelitian. Keterwujudan perangkat sistem pemantauan kualitas air limbah secara real-time dilakukan, melalui 3 (tiga) pentahapan dengan (i) pembuatan bentuk fisis sistem pemantauan kualitas air limbah; (ii) kalibrasi sensor pH, suhu dan TSS; dan (iii) pengukuran kinerja sistem pemantauan air limbah.

Kalibrasi dilakukan dengan metode perbandingan langsung dengan standar yang tertelusur ke satuan SI. Hasil kalibrasi pada sensor pH dan suhu linear sedangkan hasil kalibrasi sensor TSS tidak linear. Secara keseluruhan sistem bekerja dengan baik, dengan persentase error sensor pH sebesar 0,49%, sensor suhu sebesar 0,24% dan sensor TSS sebesar 9,61%. Sensor TSS belum layak digunakan karena persentase melibhi batas maksimum yang diizinkan perusahaan yaitu 5%. Pengukuran dapat dilakukan secara real-time pada laboratorium dan dapat menyimpan data pengukuran dengan interval waktu 2 menit.

V. REFERENCES

[1] G. R. Kumar. (2021, Januari). Waste Contamination in Water – A Real-time Water Quality Monitoring System

using IoT. *IEEE Xplore*. [Online]. Tersedia: <https://ieeexplore.ieee.org/document/940274>

[2] A. R. Maulana, (2021), “Laporan Kerja Praktik di PT Tata Tirta Utama”, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor.

[3] Yudo, S., 2016. Pengembangan sistem pemantauan kualitas air untuk memantau air limbah industri secara online. *Jurnal Air Indonesia*, 9(1).

[4] D. Alqausar, (2019, November). Wastewater Treatment. [Online]. Tersedia: <https://environment-indonesia.com/wastewater-treatment/>

[5] Admin, (2019, Desember). Perbedaan Kalibrasi dan Verifikasi. [Online]. Tersedia: <https://almeganews.wordpress.com/2019/12/04/perbedaan-kalibrasi-dan-verifikasi/>

[6] Admin, (2017, Maret). Kalibrasi Sensor Menggunakan Regresi Linear. [Online] Tersedia: <http://21ples.blogspot.com/2017/03/kalibrasi-sensor-menggunakan-regresi.html>

[7] Admin, (2018, Agustus). SEN0161 PH meter. [Online]. Tersedia: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU_SEN0161

[8] Admin, (2018, Agustus). SEN0189 turbidity sensor. [Online]. Tersedia: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189

[9] Admin, (2021, Maret). Menggunakan Sensor Suhu DS18B20 pada Arduino. [Online]. Tersedia: <https://elektro.uma.ac.id/2021/03/10/10780/>

[10] Ibnu, (2021, Agustus). Internet of Things (IoT): Pengertian dan Beberapa Industri yang Bisa Menggunakannya. [Online]. Tersedia: <https://accurate.id/teknologi/internet-of-things/>