

EVALUASI STABILITAS PEMBACAAN SENSOR PADA PENYIAPAN SISTEM MONITORING AIR LIMBAH *REALTIME* DAN *ONLINE*

Novarina Irnaning Handayani¹

¹Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 Semarang.

*Email: novarina947@gmail.com

Abstrak

Dalam era revolusi industri 4.0 dan kondisi pandemi Covid-19 pada saat ini, pemantauan lingkungan khususnya kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan secara *realtime* dan *online* menjadi cara yang paling efektif untuk digunakan. Perangkat sensor akan mengambil data dari *effluent* instalasi pengolahan di titik penataan dan langsung terhubung secara *online* ke internal industri dan *stackholder* yang berkepentingan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah menerbitkan PerMenLHK No 19 tahun 2018 dan No 80 tahun 2019 tentang Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus-Menerus dan Dalam Jaringan Bagi Usaha dan/atau Kegiatan. Salah satu tahapan pentingnya adalah pemilihan sensor yang mensyaratkan akurasi pengukuran pH 0,1, sedangkan COD dan TSS 10%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan sensor terpilih untuk parameter COD, TSS, dan pH sebagai langkah awal evaluasi kelayakan sensor untuk dapat digunakan sebagai perangkat pemantauan *realtime* dan *online*. Pengamatan kestabilan dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor dan analisa laboratorium dengan metode terstandart sehingga diperoleh data simpangan sebagai pendekatan tingkat akurasi. Sampel yang digunakan adalah air limbah *effluent* IPAL yang siap dibuang ke lingkungan. Pengambilan data dilakukan selama 15 hari dengan frekuensi 2 kali sehari hingga didapatkan 30 data pengamatan. Hasil menunjukkan bahwa sensor COD dan TSS masing-masing 6% dan 0% sampel memiliki simpangan maksimal 10% dan cenderung tidak stabil, sedangkan sensor pH 100% telah memenuhi syarat maksimal simpangan 0,1 dan cenderung stabil.

Kata kunci: sensor, air limbah, *realtime*, *online*

1. PENDAHULUAN

Salah satu ciri Revolusi Industri 4.0 adalah penggabungan otomatisasi dan teknologi *cyber* yang diterapkan pada sistem operasional industri. Menurut *World Economic Forum* tahun 2018, jenis teknologi yang akan mendominasi era ini adalah *high-speed mobile internet*, *artificial intelligence*, *big data analytics*, dan *cloud technology*. Tujuan utama penerapan teknologi tersebut adalah untuk mendapatkan efisiensi dan produktifitas yang tinggi, sehingga tercapai tujuan untuk mendatangkan keuntungan lebih dan berdaya saing global. Komitmen Indonesia terhadap Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan peluncuran "Making Indonesia 4.0" oleh Presiden Joko Widodo pada April 2018. Penerapan teknologi *digital*, *realtime*, dan *online* dapat dilakukan pada semua aspek operasional industri, baik dalam penyediaan sumber daya, proses produksi, maupun pada pengolahan limbah. Keunggulan penerapan pada proses produksi tidak hanya menjamin kestabilan proses operasi, namun juga menurunkan konsumsi energi, keperluan bahan kimia, dan biaya operasional lainnya (Cornelissen dkk., 2018 dan Khatri dkk., 2018). Penerapan teknologi 4.0 di dalam unit instalasi pengolah air limbah industri (IPAL) mampu mengendalikan kualitas *effluent* air limbah dan menurunkan biaya operasional antara 20-40% (Andri dan Hardiani, 2020), ditambahkan oleh Zhang dkk (2020) bahwa pemakaian nutrisi menjadi lebih hemat 10% dan pemakaian energi secara umum juga lebih hemat. Sistem pemantauan kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan dengan basis teknologi yang sama berharap menjadi langkah penting bernilai strategis untuk diterapkan demi terjaganya kestabilan lingkungan dan industri yang berkelanjutan.

Kualitas lingkungan perlu mendapat perhatian khusus karena berhubungan dengan keselamatan manusia dan kelestarian alam. Kondisi ekosistem yang terjaga akan menjadikan makhluk hidup yang berada di dalamnya memiliki kualitas hidup yang lebih baik. Salah satu aspek yang perlu mendapat perhatian adalah terpeliharanya kualitas lingkungan perairan. Tidak dapat dipungkiri bahwa kualitas perairan semakin menurun seiring dengan peningkatan kegiatan industri.

Industrialisasi secara umum mampu mendorong berkembangnya ekonomi dan sosial masyarakat, namun di sisi lain masih memberi potensi terjadinya pencemaran perairan jika terjadi pembuangan air limbah yang kualitas maupun bebannya tidak memenuhi persyaratan (Yudo, 2018).

Beberapa pendekatan pembinaan dan pengawasan lingkungan telah dilakukan pemerintah, diantaranya dengan menerbitkan baku mutu air limbah sesuai dengan jenis industri. Dalam PerMen LH No. 5 Tahun 2014 disebutkan bahwa setiap kegiatan yang menghasilkan air limbah wajib membuang air limbahnya dengan kualitas sesuai baku mutu dan wajib melakukan pemantauan lingkungan minimal satu bulan sekali yang dilakukan oleh laboratorium terakreditasi. Pendekatan pemantauan lebih serius dan intensif telah dilakukan dengan diterbitkannya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PerMenLHK) No. 93 tahun 2018 tentang Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus-Menerus dan Dalam Jaringan Bagi Usaha dan/atau Kegiatan (disebut SPARING) dan selanjutnya diikuti oleh PerMenLHK No. 80 Tahun 2019 yang merevisi sebagian dan melengkapi peraturan sebelumnya.

Salah satu konsekuensi Pandemi Covid-19 adalah melakukan pembatasan mobilitas manusia untuk meminimalkan penyebaran virus. Pemantauan *realtime* dan *online* menjadi solusi untuk meminimalkan resiko petugas pengambil contoh dan analis laboratorium terpapar virus sekaligus mengurangi resiko *human error* pada saat proses pengambilan contoh (*sampling*), penyimpanan sampel, maupun saat analisa di laboratorium. Selain itu dengan dukungan sensor-sensor digital yang akurat dan teknologi informasi yang mumpuni akan memberikan informasi secara langsung kepada lembaga pengawas/pembina maupun internal industri sehingga mereka dapat mengetahui dengan cepat kualitas air limbah yang dihasilkan. Hasil monitoring dapat memberikan *early warning* untuk internal industri agar cepat membuat langkah perbaikan di proses produksi maupun di unit pengendali pencemaran jika parameter indikator telah melampaui baku mutu. Dari sisi lembaga/instansi terkait dapat segera memberikan pembinaan dan teguran pada industri yang melanggar ketentuan, serta memperoleh kumpulan data pemantauan yang lebih banyak dan komprehensif yang dapat dijadikan dasar dalam pembuatan kebijakan lingkungan.

Dalam PerMenLHK No. 80 Tahun 2019 termuat beberapa unsur yang harus disiapkan dalam mendukung terlaksananya pemantauan terus menerus dan dalam jaringan (*realtime dan online*) yaitu sensor, jaringan dan komunikasi data, teknologi pengelolaan data dan sistem informasi. Sensor menjadi unsur penting dan garda depan pengambilan data sehingga data yang diperoleh benar-benar dapat dipertanggungjawabkan. Sebagai jaminan mutu sensor PerMenLHK No 80 tahun 2019 menetapkan rentang pengukuran dan akurasi sensor. Rentang pengukuran sensor pH adalah 1-14, COD (*chemical oxygen demand*) 10-1400 mg/L, TSS (*total suspended solid*) 0-2000 mg/L, dan Amonia (NH₃-N) 0-50 mg/L. Syarat akurasi sensor pH adalah 0,1, sedangkan sensor COD, TSS, dan Amonia (NH₃-N) sebesar 10%. Akurasi pengukuran merupakan penyimpangan yang diizinkan atau perbedaan relatif antara pengukuran dari alat sparing dengan pengukuran laboratorium kalibrasi.

Sebagai evaluasi awal terhadap akurasi sensor dapat dilakukan dengan pendekatan pengamatan besar simpangan antara hasil pembacaan sensor dan hasil analisa laboratorium terakreditasi yang telah menggunakan metoda terstandart sesuai dengan jenis parameter.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat kestabilan pembacaan sensor terpilih khususnya untuk parameter COD, TSS, dan pH sebagai dasar untuk menentukan langkah lanjut apakah sensor layak digunakan sebagai perangkat pemantauan *online* dan *realtime* atau perlu evaluasi lebih lanjut.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan antara hasil pembacaan sensor dari monitor *display* dengan hasil uji laboratorium terakreditasi menggunakan metode terstandart. Hasil perbandingan keduanya merupakan pendekatan nilai akurasi yang nantinya dievaluasi berdasar tolok ukur ketentuan peraturan perundangan. Air limbah yang diamati adalah air limbah effluent dari hasil pengolahan instalasi pengolah air limbah. Sampel diambil rutin selama 15 hari dengan waktu pengambilan sekitar pukul 09.00 WIB dan 15.00 WIB, sehingga diperoleh 30 data hasil pengamatan.

Sensor COD, TSS, dan pH yang digunakan pada penelitian ini adalah merk "PT" termasuk dalam kategori *low cost sensor*. Spesifikasi masing-masing sensor adalah : (1) sensor COD :

kisaran pembacaan 0-2000mg/L, akurasi pengukuran 5%, interval pembacaan 1 menit, material utama SUS316L, suhu pembacaan 0-45°C, (2) sensor TSS : rentang pengukuran 0.01-20000 mg / L, akurasi pengukuran $\pm 5\%$, material utama SUS316L, (3) sensor pH : rentang pengukuran 0-14, bahan utama black polypropylene Ag/AgCl reference gel, potensi pH $7 \pm 0,25\text{pH}$, waktu respons ≤ 10 detik, suhu pengukuran 0-60°C. Seluruh sensor menggunakan protokol komunikasi MODBUS RS485. Khusus untuk sensor COD dan TSS terdapat *wiper* sebagai pembersih otomatis. Sebelum digunakan, sensor telah melalui proses kalibrasi internal sesuai petunjuk manual alat.

Masing-masing sensor terhubung ke satu transmitter sebagai pengolah data dan hasil pembacaan sensor ditampilkan monitor *display*. Monitor memuat hasil pembacaan 4 parameter yaitu COD, TSS, pH, dan suhu. Pada penelitian ini ruang lingkup evaluasi data hanya untuk parameter COD, TSS, dan pH.

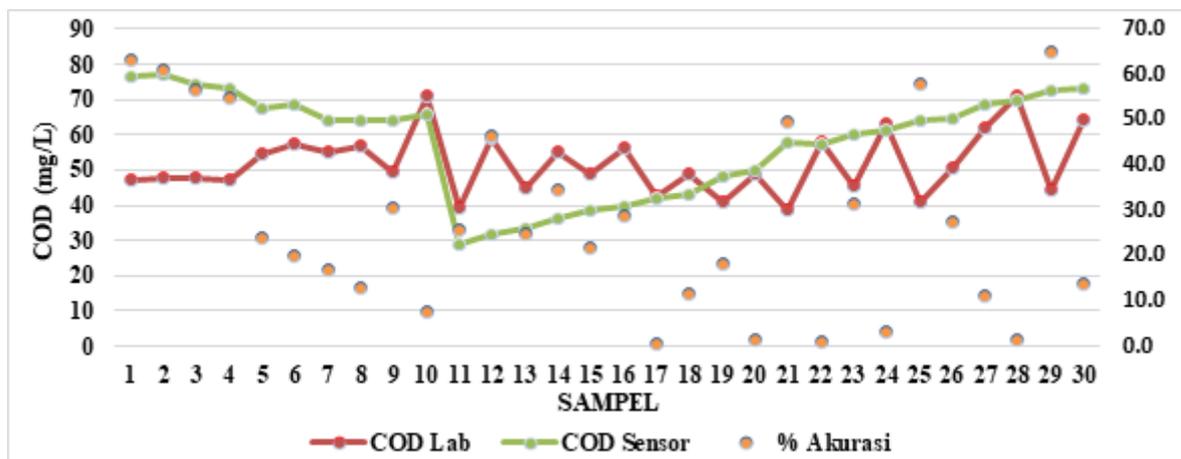
Uji laboratorium dengan menggunakan metode terstandart dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Lingkungan BBTPPI, terakreditasi KAN No LP-084-IDN dan teregister KLHK No 0059/LPJ/LABLING-1/LPK/KLH. Pengambilan contoh sampel air limbah dilakukan di titik panaan oleh Petugas Pengambil Contoh dengan tata cara berdasar Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008. Uji air limbah berdasar Standart Methode (SM) dan SNI. Parameter COD menggunakan metode uji SM 5220 D, 23rd edition:2017, TSS sesuai dengan SM 2540 A, D, 23rd edition:2017, dan pH berdasar SNI 6989.18:2019.

Penghitungan simpangan pembacaan antara sensor dan uji laboratorium dilakukan dengan membandingkan selisih antara pembacaan sensor dan hasil uji laboratorium dengan hasil uji laboratorium. Hasil disajikan sesuai pendekatan akurasi yang termuat dalam peraturan perundangan dengan satuan persen (%) untuk parameter TSS dan COD, sedangkan pH dalam angka desimal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter COD

Hasil uji laboratorium dan pembacaan sensor pada seluruh sampel untuk parameter COD tersaji dalam Gambar 1. Uji laboratorium terhadap sampel air limbah menunjukkan kisaran kadar COD antara 38,67 hingga 71,09 mg/L, sedangkan hasil pembacaan sensor berada pada kisaran 29,14 hingga 77,19 mg/L. Simpangan pembacaan sensor COD yang masih berada pada kisaran toleransi 10% hanya ditemui pada 6 sampel (20%), 80% sampel telah melampaui, bahkan simpangan tertinggi mencapai 64,8%. Jika ditinjau dari rerata, COD uji lab berada pada 51,84 mg/L sedangkan sensor 57,90 mg/L dengan simpangan 27,35%. Dari tinjauan spesifikasi sensor yang memiliki rentang pengukuran 0-2000 mg/L, tidak berbeda jauh dengan persyaratan kisaran yang ditetapkan peraturan sebesar 10-1400 mg/L. Jika kinerja sensor cukup stabil maka sensor terpilih seharusnya masih mampu mengakomodir pembacaan kadar COD air limbah dengan baik.



Gambar 1. Perbandingan Kadar COD Uji laboratorium dan Pembacaan Sensor

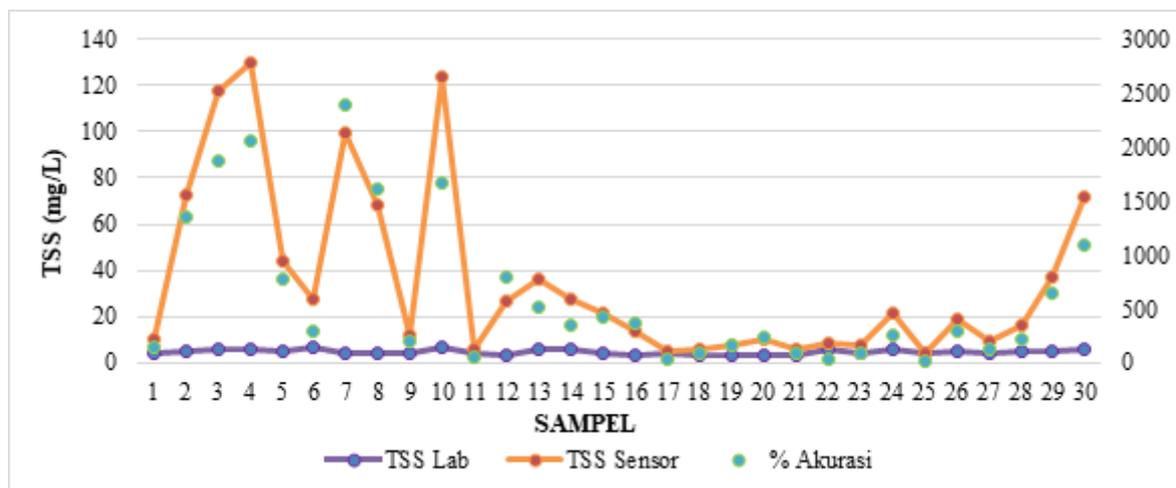
Sensor COD yang digunakan memiliki prinsip kerja sensor COD digital pada umumnya yaitu berbasis photo diode UV VIS spektrofotometer, bekerja pada satu panjang gelombang 254

nm. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan Gutiérrez-Capitán dkk (2015), penggunaan sensor berbahan karbon nanotube, komposit polistirena, mengandung di elektrokatalis anorganik NiCu, CoO, dan nanopartikel CuO/AgO mampu menghasilkan 95% data yang overlap dengan hasil analisa laboratorium metode dikromat. Dari perbedaan material penyusun sensor kemungkinan besar memberi kontribusi pada kestabilannya.

Pemakaian sensor COD ini perlu dievaluasi lebih lanjut dengan penambahan jumlah sampel pengamatan serta peningkatan pada frekuensi perawatan dan kalibrasi. Dengan cara ini diharapkan lebih memastikan gambaran ketabilan pembacaan sensor yang sebenarnya. Langkah tersebut disampaikan juga oleh Yudo (2018) yang menyebutkan bahwa perawatan dengan cara menjaga kebersihan serta kalibrasi sensor secara rutin dan berkala dapat dilakukan sebagai langkahantisipasi munculnya *error data*. Menurut Rizzo dkk (2020), pengamatan terhadap kinerja sensor dan kecenderungan pembacaannya yang dihubungkan dengan kondisi sampel air limbah yang diukur diikuti penerapan protokol perawatan yang sesuai akan menghasilkan tingkat kepercayaan terhadap pembacaan sensor menjadi lebih baik. Cara perawatan dapat dikembangkan tidak hanya berdasar manual alat saja.

Pada rentang waktu pengamatan selama 15 hari, kalibrasi sensor hanya dilakukan di awal, sedangkan pembersihan *wiper* dilakukan setiap hari. Menjadi peluang perbaikan kinerja alat jika proses kalibrasi internal lebih sering dilakukan.

3.2. Parameter TSS



Gambar 2. Perbandingan Kadar TSS Uji laboratorium dan Pembacaan Sensor

Pembacaan sensor TSS yang digunakan memiliki simpangan yang sangat besar jika dibandingkan dengan uji laboratorium. Dari 30 sampel, tidak ada yang menunjukkan akurasi 10%, 100% sampel memiliki akurasi di atas 10%. Dari Gambar 2 terlihat bahwa hasil pembacaan sensor TSS selalu jauh lebih tinggi hingga 2382,5% dibanding uji laboratorium. Tinjauan hasil rerata parameter TSS menunjukkan uji laboratorium pada 4,63 mg/L sedangkan sensor 35,59 mg/L. Kondisi ini kemungkinan sangat dipengaruhi oleh rentang pengukuran sensor yang digunakan terlalu lebar yaitu 0-20000mg/L. Dengan rentang yang lebar, sensitifitas pengukuran cenderung berkurang. Selain itu juga dipengaruhi kadar TSS dalam sampel air limbah yang relatif kecil antara 3 hingga 7 mg/L (dari uji laboratorium). Hasil pembacaan sensor antara 4,5 hingga 129,72 mg/L.

Cara kerja sensor TSS ini berdasar pada prinsip *scatter light* seperti pengukuran kekeruhan (*turbidimetry*). Menurut Mario dkk (2020), intensitas cahaya akan melewati sampel air limbah yang di dalamnya terdapat partikel-partikel yang melayang-layang (tersuspensi). Intensitas cahaya akan diteruskan dan terdeteksi oleh alat penangkap. Semakin tinggi total padatan tersuspensinya atau semakin keruh, semakin rendah intensitas cahaya yang diteruskan dan akhirnya nilai TSS akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Lepot dkk (2013) menyebutkan bahwa sensor TSS dengan prinsip turbidimetri lebih baik dibanding nephelometri, namun perbedaan hasil

pemantauannya pada limbah yang sama dengan kondisi musim yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda.

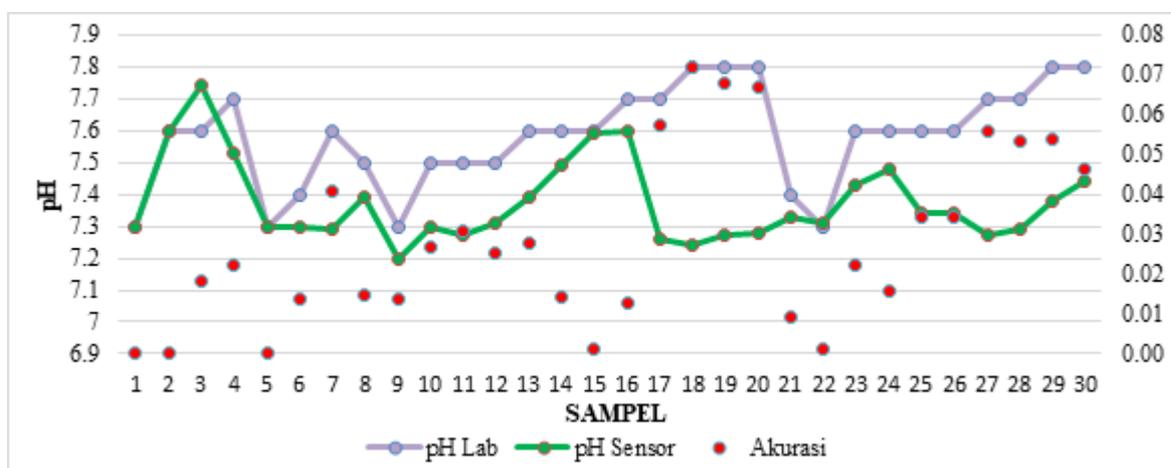
Berdasar evaluasi terhadap besar simpangan pembacaan, maka sensor TSS ini tidak layak untuk digunakan dalam pemantauan air limbah secara *realtime* dan *online*.

3.3. Parameter pH

Besar simpangan pembacaan sensor pH pada seluruh sampel dibandingkan dengan uji laboratorium seluruhnya masih di bawah 0,1. Kisaran simpangan pembacaan antara 0,00 hingga 0,07, bahkan terdapat 3 sampel dengan hasil pembacaan yang sama persis antara uji laboratorium dan sensor (lihat Gambar 3). Secara umum, pembacaan pH laboratorium cenderung lebih tinggi dari sensor. Tinjauan rerata parameter pH untuk uji laboratorium adalah 7,58 dan sensor 7,38.

Sensor pH bekerja berdasar prinsip *potentiostatic elektrokimia*. Potensial elektrokimia antara larutan di dalam gelas elektroda yang telah diketahui dibandingkan dengan larutan di luar gelas elektroda yang tidak diketahui. Lapisan tipis dari gelas elektroda akan berinteraksi dengan ion hidrogen, akhirnya akan terukur potensial elektrokimia dari ion hidrogen dan disebut sebagai potential of hydrogen (pH). Menurut Syafiqoh dkk (2018) elektroda industrial sensor pH terbuat dari membran kaca yang sensitif dengan impedansi kecil sehingga menghasilkan hasil pengukuran cukup cepat dan stabil terhadap suhu tinggi.

Perkembangan teknologi sensor pH sudah maju dan menghasilkan sensor yang relatif stabil sehingga sudah banyak industri yang telah menggunakannya. Penelitian di Belgia menunjukkan bahwa sensor pH telah digunakan pada beberapa bagian proses produksi dan instalasi pengolah air limbah. Khusus untuk kontrol pH di effluent telah digunakan pada 92% sampel (Cornelissen dkk., 2018). Menurut Khatri dkk (2018), sensor pH dan suhu dalam sebuah unit pengolahan air limbah merupakan parameter dasar dan wajib pantau sebagai cerminan awal kualitas air limbah. Berdasar perhitungan simpangan pembacaan sensor pH yang digunakan, maka sensor ini untuk digunakan dalam pemantauan kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan secara *realtime* dan *online*.



Gambar 3. Perbandingan pH Uji laboratorium dan Pembacaan Sensor

4. KESIMPULAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa simpangan pembacaan sensor COD hanya terpenuhi pada 20% sampel, TSS 0 % sampel, sedangkan sensor pH mampu terpenuhi pada 100% sampel. Berdasar hasil tersebut, jenis sensor yang masih dapat digunakan untuk pemantauan *realtime* dan *online* adalah sensor pH yang memiliki kecenderungan sangat stabil, sedangkan sensor COD dan TSS cenderung tidak stabil. Khusus sensor COD masih perlu evaluasi lebih lanjut dengan menambah frekuensi kalibrasi dan meningkatkan perawatan, sedangkan sensor TSS tidak disarankan untuk digunakan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan pada Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, yang telah memberikan sarana litbang sehingga kegiatan ini dapat dilaksanakan. Terimakasih tak terhingga juga disampaikan kepada seluruh analis laboratorium Air dan Air Limbah serta Laboratorium Kalibrasi yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andri T.R., & Hardiani, H. (2020). Online Monitoring of Effluent Quality for Assessing the Effect of Wastewater Treatment Plant. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 12(1), 7–19. <https://doi.org/https://10.21771/jrtppi.2021.v12.no1.p7-19>
- Cornelissen, R., Van Dyck, T., Dries, J., Ockier, P., Smets, I., Van Den Broeck, R., Van Hulle, S., & Feyaerts, M. (2018). Application of online instrumentation in industrial wastewater treatment plants - A survey in Flanders, Belgium. *Water Science and Technology*, 78(4), 957–967. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.375>
- Gutiérrez-Capitán, M., Baldi, A., Gómez, R., García, V., Jiménez-Jorquera, C., & Fernández-Sánchez, C. (2015). Electrochemical nanocomposite-derived sensor for the analysis of chemical oxygen demand in urban wastewaters. *Analytical Chemistry*, 87(4), 2152–2160. <https://doi.org/10.1021/ac503329a>
- Khatri, N., Sharma, A., Khatri, K. K., & Sharma, G. D. (2018). An IoT-based innovative real-time pH monitoring and control of municipal wastewater for agriculture and gardening. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 79, 353–362. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5828-8_34
- Lepot, M., Aubin, J. B., & Bertrand-Krajewski, J. L. (2013). Accuracy of different sensors for the estimation of pollutant concentrations (total suspended solids, total and dissolved chemical oxygen demand) in wastewater and stormwater. *Water Science and Technology*, 68(2), 462–471. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.276>
- Mario Orlando, Desta Yolanda, & Werman Kasoep. (2020). Sistem monitoring dan penjernihan air berdasarkan derajat keasaman (pH) dan kekeruhan pada bak penampungan air berbasis internet of things. *Chipset*, 1(01), 17–22. <https://doi.org/10.25077/chipset.1.01.17-22.2020>
- Rizzo, A., Bresciani, R., Martinuzzi, N., & Masi, F. (2020). Online monitoring of a long-term full-scale constructed wetland for the treatment of winery wastewater in Italy. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/app10020555>
- Syafiqoh, U., Sunardi, S., & Yudhana, A. (2018). Pengembangan Wireless Sensor Network Berbasis Internet of Things untuk Sistem Pemantauan Kualitas Air dan Tanah Pertanian. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 3(2), 285–289. <https://doi.org/10.30591/jpit.v3i2.878>
- Yudo, S. (2018). Pengembangan sistem pemantauan kualitas air untuk memantau air limbah industri secara online. *Jurnal Air Indonesia*, 9(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2478>
- Zhang, W., Tooker, N. B., & Mueller, A. V. (2020). Enabling wastewater treatment process automation: Leveraging innovations in real-time sensing, data analysis, and online controls. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(11), 2973–2992. <https://doi.org/10.1039/d0ew00394h>