

PEMANFAATAN *SMART POLLUTANT TRACKER* BERBASIS *IOT* UNTUK PEMANTAUAN PENCEMARAN LIMBAH INDUSTRI DI SUNGAI CITARUM

DARMAWAN HIDAYAT¹, MUHAMMAD RASYID RAMDHANI¹, EMILLIANO¹, AGUS TRISANTO¹,
LIU KIN MEN², SETIANTO^{2,*})

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Sumedang 45363, Jawa Barat, Indonesia

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Sumedang 45363, Jawa Barat, Indonesia

^{*)} email: setianto@phys.unpad.ac.id

Diserahkan: 23/07/2025

Diterima: 24/07/2025

Dipublikasikan: 06/08/2025

Abstrak. Permasalahan pencemaran sungai di wilayah hulu Citarum dan anak sungainya, seperti Sungai Citarik, masih menjadi isu lingkungan yang serius, terutama akibat limbah industri. Untuk mendukung upaya pemantauan kualitas air secara berkelanjutan, tim pengabdian dari Departemen Teknik Elektro, FMIPA Unpad mengembangkan dan mengimplementasikan Smart Pollutant Tracker (SPT), yaitu alat pemantau limbah berbasis Internet of Things (IoT). Alat ini dirancang untuk mengukur parameter fisik dan listrik air secara real-time menggunakan sensor impedansi berbasis AD5933 untuk mendeteksi anomali konduktivitas air sebagai indikator pencemaran air. Program ini tidak hanya memperkenalkan solusi teknologi ramah lingkungan, tetapi juga melibatkan kolaborasi langsung dengan Satgas Citarum Harum, pemerintah desa, dan masyarakat lokal. Hasil implementasi menunjukkan efektivitas SPT dalam mendeteksi perubahan kualitas air secara cepat, serta memberikan data yang dapat digunakan untuk tindak lanjut penegakan hukum dan perencanaan kebijakan lingkungan. Kegiatan ini merupakan bentuk nyata kontribusi akademik dalam mendukung keberlanjutan dan penguatan peran masyarakat dalam pengawasan lingkungan.

Kata kunci: pengabdian masyarakat, sungai Citarum, *Smart Pollutant Tracker*, *Internet of Things*, pemantauan limbah

Abstract. The issue of river pollution in the upstream areas of the Citarum River and its tributaries, such as the Citarik River, remains a serious environmental concern, particularly due to industrial waste. To support continuous water quality monitoring efforts, a community service team from the Department of Electrical Engineering, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran has developed and implemented the Smart Pollutant Tracker (SPT), an Internet of Things (IoT)-based waste monitoring device. This tool is designed to measure physical and electrical parameters of water in real-time using an impedance sensor based on the AD5933 chip to detect anomalies in water conductivity as an indicator of pollution. The program not only introduces an environmentally friendly technological solution but also involves active collaboration with the Citarum Harum Task Force, local government, and the surrounding communities. The implementation results demonstrate the effectiveness of the SPT in rapidly detecting changes in water quality and providing data that can be used to support law enforcement and environmental policy planning. This activity represents a tangible academic contribution to environmental sustainability and the empowerment of local communities in environmental monitoring.

Keywords: community service, Citarum River, *Smart Pollutant Tracker*, *Internet of Things*, waste monitoring

1. Pendahuluan

Pencemaran air merupakan salah satu isu lingkungan yang sangat krusial, terutama di negara-negara berkembang yang tengah mendorong pertumbuhan sektor industri. Pencemaran terjadi ketika zat-zat berbahaya, seperti bahan kimia atau mikroorganisme, masuk ke dalam badan air seperti selokan, sungai, danau, laut, dan akuifer. Kontaminasi ini menurunkan kualitas air dan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia maupun keseimbangan ekosistem [1]. Dalam konteks negara berkembang, percepatan industrialisasi sering kali tidak dibarengi dengan pengelolaan limbah yang memadai [2]. Proses produksi di berbagai sektor industri menggunakan bahan kimia yang bersifat toksik, dan menghasilkan limbah cair berbahaya yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan benar [3]. Meskipun pemerintah telah menetapkan regulasi terkait pengolahan limbah, pada kenyataannya banyak industri yang masih membuang limbah cair langsung ke sungai tanpa pengolahan yang layak [4,5]. Salah satu tantangan utama dalam mengatasi pencemaran air adalah lemahnya sistem pengawasan di lapangan. Luasnya wilayah sungai, banyaknya jumlah industri, serta keterbatasan sarana dan prasarana pengukuran kualitas air menjadi faktor penghambat dalam pelaksanaan pengawasan yang efektif [6]. Salah satu contoh nyata adalah Sungai Citarum, sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat yang memiliki panjang sekitar 270 km, mengalir dari Gunung Wayang (Kabupaten Bandung) hingga Muara Gembong (Kabupaten Bekasi). Sungai ini menjadi pusat aktivitas industri, yang dalam banyak kasus justru menjadi sumber utama pencemaran lingkungan. Dalam praktiknya, sangat sulit untuk mengetahui secara pasti waktu dan lokasi terjadinya pencemaran, serta industri mana yang menjadi penyebabnya. Hal ini sering kali menimbulkan konflik antara pemerintah sebagai pengawas, pelaku industri sebagai pihak yang dituduh mencemari, dan masyarakat sebagai pihak yang terdampak langsung. Untuk menjawab tantangan tersebut, dibutuhkan sistem pemantauan kualitas air sungai yang bersifat on-site dan real-time berbasis teknologi digital. Sistem ini diharapkan mampu memberikan data objektif mengenai kondisi pencemaran yang terjadi, serta dilengkapi dengan sistem informasi yang dapat diakses oleh berbagai pemangku kepentingan. Tujuan utama dari kegiatan pengabdian ini adalah merancang dan menerapkan sistem pendeteksi pencemaran air sungai berbasis *Internet of Things* (IoT), dengan memanfaatkan karakteristik impedansi listrik air untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi zat pencemar. Teknologi ini diharapkan dapat digunakan oleh pemerintah, masyarakat, dan pihak terkait lainnya sebagai dasar dalam pengambilan keputusan, termasuk dalam penindakan hukum terhadap pelaku pencemaran, serta sebagai bentuk kontribusi akademik dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

2. Metode Pengabdian kepada Masyarakat

Kegiatan pengabdian ini menggunakan pendekatan *technology-based community service* melalui pengembangan dan implementasi sistem pemantauan pencemaran sungai berbasis IoT. Fokus utama adalah penggunaan *Smart Pollutant Tracker* (SPT) sebagai alat bantu pemantauan kualitas air secara real-time, dengan sasaran utama adalah membantu pemangku kepentingan (pemerintah, Satgas Citarum Harum, dan masyarakat) dalam mendeteksi pencemaran secara cepat dan akurat.

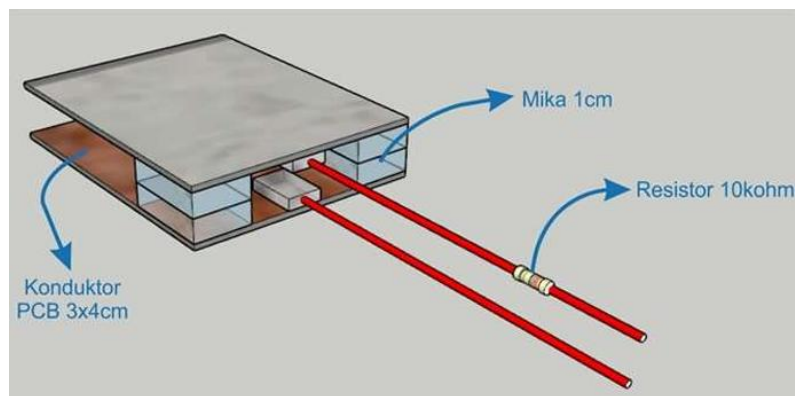
2.1 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perangkat *Smart Pollutant Tracker* (SPT) dikembangkan sebagai sistem pemantauan kualitas air sungai secara *real-time* dengan memanfaatkan teknologi IoT. Komponen utama dari perangkat ini meliputi sensor konduktivitas berbasis AD5933 yang berfungsi untuk mengukur impedansi listrik air. Sensor ini mendeteksi adanya kontaminasi kimia berdasarkan nilai impedansi, di mana nilai di bawah 10.300 k Ω menunjukkan potensi pencemaran. Mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino digunakan untuk mengontrol

proses pembacaan data dari sensor serta mengatur pengiriman data ke sistem monitoring. Untuk komunikasi data, perangkat ini dilengkapi dengan modul nirkabel seperti GSM, LoRa, atau WiFi, tergantung pada ketersediaan jaringan di lokasi. Sebagai sumber energi, perangkat menggunakan catu daya mandiri berbasis baterai isi ulang, dan dapat ditambah panel surya agar tetap berfungsi di daerah terpencil. Semua data dari sensor dikirim ke aplikasi pemantauan berbasis Android dan web, yang menyajikan informasi secara real-time dan memberikan notifikasi jika terdeteksi pencemaran.

2.2 Prinsip Kerja Sensor AD5933

Sensor berbasis AD5933 beroperasi dengan prinsip pengukuran impedansi menggunakan teknik penyisiran frekuensi. AD5933 mengirimkan sinyal sinusoidal ke probe pengukuran yang ditempatkan dalam aliran sungai. Respon dari air terhadap sinyal ini dikonversi oleh ADC internal (12-bit, 1 MSPS), kemudian diproses menggunakan DFT oleh mesin DSP internal AD5933. *Output*-nya berupa nilai impedansi kompleks yang menjadi indikator kondisi kualitas air.



Gambar 1. Desain probe pengukur sifat impedansi listrik air dan zat cemaran

Gambar 1 menunjukkan rancangan fisik *probe* sensor impedansi listrik yang digunakan untuk mendeteksi kualitas air dan keberadaan zat pencemar. Probe ini terdiri dari dua plat sejajar berbahan PCB berukuran 3×4 cm dan jarak antar-plat 1 cm. Air sungai berperan sebagai bahan dielektrik yang mempengaruhi nilai kapasitansi dan impedansi sistem. Data impedansi dikalibrasi menggunakan resistor 10 k Ω sebagai referensi awal. Nilai impedansi di bawah 10.300 k Ω menandakan potensi adanya kontaminan kimia, sedangkan nilai di atas ambang ini menunjukkan air relatif normal.

2.3 Protokol Akuisisi dan Transmisi Data

Data impedansi dikumpulkan oleh mikrokontroler setiap 5 menit dan dikirim ke *server cloud* melalui modul komunikasi nirkabel. Data ini disimpan dalam basis data dan divisualisasikan melalui dashboard web dan aplikasi Android. Setiap anomali nilai impedansi dapat memicu notifikasi otomatis kepada petugas lingkungan atau Satgas Citarum Harum untuk tindak lanjut.

2.4 Lokasi Implementasi Lapangan

Uji coba dan penerapan sistem dilakukan di dua titik strategis di wilayah Bandung, Jawa Barat. Titik pertama berada di Sungai Citarum (Sektor 5), yang dipilih karena merupakan jalur hilir dari kawasan industri tekstil yang berpotensi membuang limbah langsung ke badan sungai. Titik kedua berada di Sungai Citarik, Kecamatan Solokanjeruk, Kabupaten Bandung, yang berdekatan dengan aliran dari Sektor 4 dan memiliki riwayat pencemaran limbah industri. Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada pertimbangan aksesibilitas, potensi pencemaran, serta peran strategisnya dalam rantai aliran sungai. Untuk mendukung

ketahanan sistem di lapangan, perangkat dipasang di bantaran sungai menggunakan tiang logam anti karat dan dilengkapi pelindung sensor agar mampu bertahan terhadap arus sungai yang deras.

2. Hasil dan Pembahasan

Penerapan sistem SPT pada dua titik strategis di Sungai Citarum dan Citarik telah memberikan hasil awal yang positif dalam hal pemantauan kualitas air secara *real-time*. Selama periode uji coba awal yang berlangsung selama satu bulan (Oktober–Nopember 2024), sistem berhasil mencatat fluktuasi nilai impedansi air sungai secara kontinu dengan interval waktu pengukuran lima menit. Data dikirim ke server berbasis web dan dapat diakses melalui aplikasi Android oleh tim pemantau dan stakeholder yang terlibat. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa dalam kondisi normal, impedansi air berada pada kisaran 12.000–17.000 k Ω , yang sesuai dengan kondisi air sungai tanpa pencemaran signifikan. Namun, pada beberapa waktu tertentu, khususnya setelah hujan lebat atau pada malam hari, terjadi penurunan tajam nilai impedansi hingga di bawah ambang batas 10.300 k Ω . Perubahan ini secara ilmiah mengindikasikan meningkatnya konsentrasi ion-ion terlarut dalam air, yang kemungkinan besar berasal dari pembuangan limbah cair industri atau limpasan permukaan.

Dalam salah satu kasus yang terdeteksi pada pukul 01.25 WIB dini hari, nilai impedansi turun ke angka 8.700 k Ω , dan tetap rendah selama lebih dari satu jam sebelum kembali normal. Notifikasi otomatis dari sistem langsung dikirimkan ke perangkat Komandan Sektor 5 Satgas Citarum Harum, memungkinkan tim untuk melakukan verifikasi ke lapangan di pagi harinya. Dari hasil investigasi visual dan penelusuran sungai, diketahui bahwa limbah kemungkinan berasal dari salah satu saluran pembuangan industri di wilayah Sektor 4 yang berdekatan dan memiliki aktivitas produksi malam hari. Peristiwa ini menunjukkan efektivitas alat dalam mengidentifikasi potensi pelanggaran yang tidak terdeteksi melalui metode konvensional. Kolaborasi dengan Satgas Citarum Harum Sektor 5 menghasilkan beberapa masukan teknis yang sangat bermanfaat untuk pengembangan lanjutan alat, antara lain:

1. Penambahan Modul CCTV Waterproof

Untuk meningkatkan akurasi verifikasi pencemaran, disarankan agar SPT dilengkapi dengan kamera tahan air beresolusi tinggi. Kamera ini akan merekam secara visual kondisi sungai bersamaan dengan waktu deteksi pencemaran, sehingga memudahkan analisis forensik.

2. Desain Pelampung Dinamis

Saat hujan deras, arus sungai membawa banyak sedimen yang berpotensi menimbun sensor dan mengganggu pembacaan. Oleh karena itu, desain pelampung yang fleksibel dengan jangkar ringan diusulkan agar sensor dapat mengapung mengikuti arus tanpa terguling.

3. Ekspansi Jaringan Sensor

Mengingat Sungai Citarum mencakup wilayah yang luas, disarankan agar unit sensor ditambah secara bertahap untuk mencakup titik-titik kritis lainnya. Idealnya, setiap sektor memiliki minimal dua unit SPT untuk menjamin deteksi arah aliran limbah (hulu-hilir).

4. Integrasi dengan Dashboard Komando Satgas

Data dari SPT saat ini terpisah dari sistem pemantauan internal Satgas. Kolaborasi teknis berikutnya direncanakan untuk menyambungkan sistem ke dashboard pusat di Komando Satgas agar respons dapat lebih cepat dan terkoordinasi.

Respons langsung dari Komandan Satgas Sektor 5, Kolonel Rahman Sujaya, menyatakan bahwa keberadaan SPT sangat membantu dalam pengawasan terhadap delapan pabrik yang berada di sepanjang sektor tersebut. Ia juga menambahkan bahwa kemampuan sistem dalam

mengidentifikasi perubahan air secara langsung memberikan keuntungan strategis, terutama dalam memantau potensi pelanggaran dari Sektor 4 yang memiliki konsentrasi industri lebih tinggi dan dikenal sebagai salah satu sumber pencemaran utama.



Gambar 2. Komandan Satgas Sektor 5, Kolonel Rahman Sujaya (tengah), sedang meninjau langsung pemasangan perangkat Smart Pollutant Tracker (SPT) di bantaran Sungai Citarum

Evaluasi teknis menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat uptime sebesar 96,7%, dengan gangguan hanya terjadi saat hujan ekstrem menyebabkan penurunan sinyal jaringan GSM. Hal ini dapat ditangani dengan menambahkan power backup dan sistem penyimpanan data lokal untuk sync saat sinyal kembali stabil. Keberhasilan tahap awal ini menjadi dasar kuat bagi replikasi sistem ke sektor-sektor lain dalam DAS Citarum dan bahkan sungai-sungai strategis lainnya di Indonesia. Diseminasi hasil dan penguatan dukungan kelembagaan menjadi langkah lanjut agar inovasi ini dapat dimanfaatkan secara luas oleh pemangku kepentingan lingkungan.



Gambar 3. Tim pelaksana program Smart Pollutant Tracker (SPT) di Sungai Citarum berfoto bersama di posko Satgas Citarum Harum Sektor 5.

Tampak dalam foto, tim pelaksana program SPT di Sungai Citarum terdiri dari perwakilan akademisi dan mahasiswa FMIPA, Unpad serta personel Satgas Citarum Harum. Di latar belakang foto, terlihat peta dislokasi personel dan perusahaan di wilayah Sektor 5 serta dokumentasi kegiatan Satgas yang terpajang di dinding. Suasana pertemuan menunjukkan

kolaborasi erat antara pihak kampus dan Satgas dalam upaya pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam pemantauan kualitas air sungai secara real-time menggunakan teknologi IoT.

4. Simpulan

Penerapan SPT di Sungai Citarum dan Citarik menunjukkan bahwa teknologi berbasis sensor dan IoT sangat efektif untuk mendeteksi pencemaran limbah kimia secara cepat dan akurat. Sistem ini mampu memberikan informasi real-time mengenai kondisi kualitas air, sehingga memudahkan pemantauan dan mempercepat respons terhadap kejadian pencemaran. Data dari SPT tidak hanya membantu tim Satgas Citarum Harum dalam pengawasan di lapangan, tetapi juga dapat menjadi dasar untuk penindakan hukum terhadap pelaku pencemaran. Hal ini memperkuat fungsi pengawasan berbasis data yang objektif dan terukur. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini membuktikan bahwa kolaborasi antara akademisi, pemerintah, dan masyarakat sangat penting dalam menyelesaikan persoalan lingkungan. Inovasi teknologi yang dihasilkan menjadi wujud nyata kontribusi perguruan tinggi dalam mendukung keberlanjutan sumber daya alam dan membangun sistem pemantauan lingkungan yang lebih modern dan responsif.

Daftar Pustaka

1. J. Qu, and M. Fan. (2010). "The Current State of Water Quality and Technology Development for Water Pollution Control in China," *Crit Rev Environ Sci Technol*, vol. 40, pp. 519–560.
2. R. Afroz, M. M. Masud, R. Akhtar and J. B. Duasa. (2014). "Water Pollution: Challenges and Future Direction for Water Resource Management Policies in Malaysia," *Environ. Urban. ASIA*, vol. 5, pp. 63–81.
3. J. Wang, L. S. Lautz, T. M. Nolte, L. Posthuma, K. R. Koopman, R.S.E.W. Leuven A, J. Hendriks. (2021). "Towards a systematic method for assessing the impact of chemical pollution on ecosystem services of water systems," *J. Environ. Manage.*, vol. 281, p. 111873.
4. K. Demeter, J.-B. Burnet, P. Stadler, A. Kirschner, M. Zessner and A. H. Farnleitner. (2020). "Automated online monitoring of fecal pollution in water by enzymatic methods," *Curr Opin Environ Sci Health*, vol. 16, pp. 82–91.
5. A. H. Sweidan, N. E.-Bendary, O. M. Hegazy, A. E. Hassanien, and V. Snaself. (2015). "Water Pollution Detection System based on Fish Gills as a Biomarker," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 65, pp. 601 – 611.
6. A. F. Ramadhiani and Suharyanto. (2021). "Analysis of river water quality and pollution control strategies in the upper Citarum River," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 623, no. 1, p. 012052.