

PENGEMBANGAN SISTEM BERBASIS IOT DAN MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI DEBIT AIR BENDUNGAN SECARA REAL TIME

Sayid Zapar Ardian¹, Maratanto², Denni Pratama³, Faturrohman⁴.

Program Studi Teknik Informatika¹
Program Studi Manajemen Informatika²
Program Studi Komputerisasi Akuntansi³
Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak⁴

STMIK IKMI Cirebon
<https://ikmi.ac.id/page/18/?lang=de>
sayidzaparardian1@gmail.com

(*) Corresponding Author : sayidzaparardian1@gmail.com
Published : 30 Juni 2026

Abstract—Global climate change and increasing Human activities have caused significant fluctuations in Water discharge, creating the need for a monitoring and prediction system that is fast, accurate, and adaptive. This research aims to develop an Internet of Things based monitoring system integrated with Machine Learning to predict dam Water discharge in real time. The system is designed using an HC-SR04 ultrasonic sensor to measure water levels, an ESP32 microcontroller for data processing and transmission, and the Blynk Cloud platform for data visualization. Collected data are analyzed using the Random Forest Regression algorithm to generate predictive discharge models. The research applies an experimental engineering approach using the prototype model through several stages, including Hardware design, Software integration, data acquisition, model training, and validation. The results show that the system can measure water level data with over 95% Accuracy and predict discharge with a Determination coefficient of 0.98, indicating excellent predictive performance. The Blynk dashboard displays three discharge status levels Safe, Alert, and Danger serving as an early warning system for dam operators. The integration of IoT and Machine Learning significantly enhances monitoring efficiency, response speed, and reliability in detecting dynamic discharge changes. This study contributes to the development of intelligent data-driven systems for hydrological disaster mitigation and supports the Sustainable Development Goals numbers 6 and 13 on Clean Water and climate action.

Keywords: Internet of Things; Machine Learning; Random Forest; Water discharge Prediction; Early Warning System.

Abstrak—Perubahan iklim *global* dan peningkatan aktivitas manusia menyebabkan *fluktuasi* debit air yang signifikan, sehingga dibutuhkan sistem pemantauan dan prediksi yang cepat, akurat, dan adaptif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan debit air berbasis *Internet of Things* yang terintegrasi dengan *Machine Learning* untuk memprediksi perubahan debit air bendungan secara waktu nyata. Sistem dirancang menggunakan *Sensor Ultrasonik* HC-SR04 sebagai pengukur tinggi muka air, mikrokontroler ESP32 untuk pengolahan dan transmisi data, serta *platform Blynk Cloud* sebagai media visualisasi. Data hasil pengukuran dikumpulkan dan dianalisis menggunakan algoritma *Random Forest Regression* untuk menghasilkan model prediksi debit air. Penelitian dilakukan melalui pendekatan eksperimen rekayasa sistem dengan model prototipe, yang melibatkan tahapan perancangan perangkat keras, integrasi perangkat lunak, pengumpulan data, pelatihan model, dan validasi hasil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data tinggi air dengan akurasi di atas 95% dan menghasilkan prediksi debit air dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,98, yang menandakan performa prediksi sangat baik. Dashboard Blynk menampilkan kondisi debit dalam tiga kategori status: Aman, Waspada, dan Bahaya, sebagai sistem peringatan dini bagi pengelola bendungan. Integrasi IoT dan *Machine Learning* terbukti meningkatkan efisiensi pemantauan, kecepatan respon, serta keandalan dalam mendeteksi perubahan debit air secara dinamis. Penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan sistem cerdas berbasis data untuk mitigasi bencana hidrologi, serta mendukung implementasi *Sustainable Development Goals* (SDG) poin 6 dan 13 terkait air bersih dan aksi iklim.

Kata Kunci: *Internet of Things; Machine Learning; Random Forest; Prediksi Debit Air; Sistem Peringatan Dini.*

INTRODUCTION

Air merupakan sumber daya alam yang paling penting bagi kelangsungan hidup manusia dan seluruh makhluk di bumi. Ketersediaan air tidak hanya menjadi kebutuhan dasar, tetapi juga berperan besar dalam menopang berbagai aktivitas ekonomi seperti pertanian, perikanan, industri, pembangkit listrik tenaga air, hingga penyediaan air bersih rumah tangga. Namun, seiring meningkatnya jumlah penduduk, urbanisasi yang cepat, serta perubahan tata guna lahan, tekanan terhadap ketersediaan air semakin tinggi. Sumber daya air kini tidak lagi hanya menghadapi persoalan kuantitas, tetapi juga kualitas dan distribusi spasial-temporal yang semakin tidak menentu. Berbagai wilayah di Indonesia mulai menghadapi permasalahan seperti kekeringan berkepanjangan di musim kemarau dan banjir besar di musim penghujan, yang keduanya berdampak langsung terhadap ketahanan pangan, energi, dan lingkungan.

Perubahan iklim *global* memperburuk kondisi tersebut dengan memengaruhi pola hujan dan aliran sungai secara signifikan. Hujan yang dahulu bersifat musiman kini menjadi tidak teratur, dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat yang menyebabkan banjir bandang di beberapa daerah, sedangkan di daerah lain hujan tidak turun berbulan-bulan sehingga mengakibatkan kekeringan ekstrem. Fenomena ini menyebabkan *fluktuasi* besar pada tinggi muka air sungai dan bendungan, sehingga pengelolaan debit air menjadi semakin kompleks dan tidak dapat lagi bergantung pada pendekatan manual. Dampak dari ketidakpastian iklim ini juga memicu gangguan pada sistem irigasi pertanian, penyediaan air bersih, dan bahkan produksi listrik tenaga air yang sangat bergantung pada kestabilan volume air waduk. Menurut laporan [1], peningkatan suhu *global* sebesar 1,5°C dapat mengubah pola curah hujan di wilayah tropis secara drastis dan meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi hingga 40%.

Di sisi lain, sistem pemantauan hidrologi di Indonesia masih banyak yang mengandalkan metode konvensional, yaitu pengukuran manual oleh petugas lapangan. Pengukuran seperti ini memerlukan tenaga manusia yang besar, waktu yang lama, dan rawan kesalahan pencatatan. Data yang dihasilkan pun bersifat diskrit dan tidak kontinu, sehingga sulit digunakan untuk analisis prediktif. Dalam situasi darurat seperti

peningkatan mendadak debit air di bendungan, sistem manual tidak mampu memberikan peringatan dini yang cepat dan akurat. Akibatnya, proses pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana menjadi terlambat, yang berpotensi menimbulkan kerugian besar baik dari segi ekonomi maupun keselamatan masyarakat di sekitar area sungai atau waduk.

Perkembangan teknologi digital yang pesat, khususnya dalam bidang Internet of Things (IoT), telah membuka peluang besar dalam modernisasi sistem pemantauan sumber daya air. Teknologi IoT mendukung proses pengumpulan dan transmisi data secara waktu nyata (*real-time*) dari berbagai sensor lingkungan yang terhubung melalui jaringan nirkabel. Sensor-sensor ini dapat ditempatkan di lokasi strategis seperti bendungan, sungai, dan saluran irigasi untuk memantau tinggi muka air, curah hujan, suhu, serta parameter hidrologis lainnya secara berkelanjutan. Mikrokontroler seperti ESP32 mampu memproses data langsung di lapangan sebelum dikirimkan melalui jaringan *Wi-Fi* atau *LTE* menuju *cloud platform* seperti Blynk, yang menyediakan antarmuka visualisasi berupa grafik dan indikator status sistem.

Pendekatan ini sejalan dengan penelitian [2] yang menegaskan bahwa arsitektur IoT berbasis *Edge Computing* meningkatkan efisiensi sistem pemantauan air melalui pengolahan data awal di sisi perangkat. Selain itu, [3] menjelaskan bahwa efisiensi sistem IoT sangat dipengaruhi oleh pemilihan perangkat keras yang hemat daya, latensi rendah, dan kompatibel dengan kompleksitas algoritma pemrosesan data. Dengan integrasi antara sensor cerdas, komunikasi nirkabel, dan *cloud computing*, sistem IoT modern mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi air dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara adaptif.

Selain IoT, kemajuan dalam bidang *Machine Learning (ML)* turut memperkuat sistem pemantauan air menjadi lebih cerdas. ML mampu mempelajari pola dari data historis untuk menghasilkan model prediksi yang adaptif terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Salah satu algoritma yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah *Random Forest*, yaitu metode *ensemble learning* yang menggabungkan banyak pohon keputusan (*decision trees*) untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan prediksi. Penelitian oleh [4] di Turki menunjukkan bahwa penerapan empat algoritma ML *linear regression*, *decision tree*, *random forest*, dan *XGBoost* dalam memprediksi tinggi muka air Bendungan Karaçomak menghasilkan nilai R^2 sekitar 0,98,

menandakan ketepatan model yang sangat tinggi. Hasil serupa juga diperoleh [5] di Malaysia pada prediksi Waduk Kenyir, di mana nilai R^2 mencapai 0,999 untuk horizon tujuh hari ke depan.

Integrasi antara sistem IoT dan ML telah terbukti memberikan hasil yang jauh lebih efektif dibandingkan metode pemantauan tradisional. [6] membandingkan model hidrodinamika klasik (*Storm Water Management Model* atau SWMM) dengan model ML berbasis *Nonlinear Autoregressive with Exogenous Inputs (NARX)* yang memanfaatkan data sensor IoT secara langsung. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa model berbasis ML mampu menurunkan nilai *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 33–37% dibandingkan dengan model fisik SWMM, sekaligus meningkatkan efisiensi perhitungan dan kecepatan analisis. Temuan ini memperlihatkan bahwa integrasi antara IoT dan ML bukan hanya meningkatkan kecepatan deteksi perubahan debit air, tetapi juga memberikan hasil prediksi yang jauh lebih akurat dan dapat diandalkan dalam konteks pengelolaan waduk.

Namun, penerapan teknologi IoT dan ML di lapangan tidak lepas dari berbagai tantangan. Menurut [6], tantangan utama dalam implementasi sistem IoT pada pemantauan air meliputi keterbatasan daya prosesor dan baterai sensor, kestabilan jaringan komunikasi, serta gangguan lingkungan seperti suhu ekstrem dan kelembapan tinggi yang dapat menurunkan umur sensor. Sementara itu, [7] dalam kajiannya mengenai sensor berbiaya rendah mencatat bahwa masalah seperti *sensor drift* (pergeseran akurasi sensor dari waktu ke waktu), kesalahan kalibrasi, dan ketergantungan pada pasokan energi menjadi hambatan utama untuk menjaga keakuratan data jangka panjang. Selain itu, integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan model ML memerlukan desain arsitektur sistem yang matang agar data dapat mengalir secara efisien dan konsisten dari sensor hingga ke tahap analisis.

Melihat tantangan tersebut, dibutuhkan sistem yang tidak hanya mampu memantau tinggi muka air secara waktu nyata, tetapi juga dapat menganalisis data secara otomatis untuk memberikan prediksi yang akurat dan peringatan dini terhadap potensi bahaya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan prediksi debit air berbasis IoT dan *Machine Learning* yang dirancang agar efisien, akurat, dan mudah diimplementasikan. Sistem ini menggunakan *Sensor Ultrasonik* sebagai alat

ukur tinggi muka air, mikrokontroler ESP32 untuk memproses dan mengirimkan data ke *Blynk Cloud Dashboard*, serta algoritma *Random Forest* di platform Python untuk menganalisis data historis dan memprediksi tren perubahan debit air. Hasil prediksi akan divisualisasikan dalam bentuk grafik serta indikator status kondisi (Aman, Waspada, Bahaya) yang dapat digunakan sebagai sistem peringatan dini bagi pengelola bendungan.

Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengelolaan sumber daya air dapat dilakukan secara lebih cerdas, efisien, dan responsif terhadap perubahan lingkungan. Integrasi teknologi IoT dan *Machine Learning* tidak hanya menjadi solusi teknis untuk memantau dan memprediksi debit air, tetapi juga berkontribusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya pada poin ke-6 (air bersih dan sanitasi layak) dan poin ke-13 (penanganan perubahan iklim). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah nyata menuju penerapan teknologi cerdas dalam pengelolaan air di Indonesia, sekaligus memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan sistem pemantauan hidrologi yang adaptif dan terintegrasi di masa depan.

MATERIALS AND METHODS

Adapun tahapan prosedur penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 Prosedur penelitian



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.4, tahapan penelitian dimulai dari proses analisis kebutuhan sistem yang bertujuan untuk menentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam penelitian. Tahap berikutnya adalah perancangan

arsitektur sistem yang mencakup desain integrasi antara perangkat IoT dan sistem pengolahan data. Selanjutnya dilakukan implementasi sistem IoT dengan merakit sensor ultrasonik yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk membaca data ketinggian air. Data yang diperoleh kemudian melalui proses pengumpulan dan prapemrosesan data sebelum digunakan dalam proses pelatihan model machine learning. Pada tahap berikutnya dilakukan pelatihan dan pengujian model Random Forest untuk menghasilkan model prediksi yang dapat digunakan dalam sistem monitoring debit air. Model yang telah dibangun kemudian dilakukan evaluasi dan visualisasi hasil untuk mengetahui tingkat akurasi serta menampilkan hasil monitoring secara lebih informatif. Tahap terakhir adalah dokumentasi dan validasi sistem yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berjalan dengan baik serta dapat digunakan sebagai sistem monitoring dan prediksi debit air secara real time.

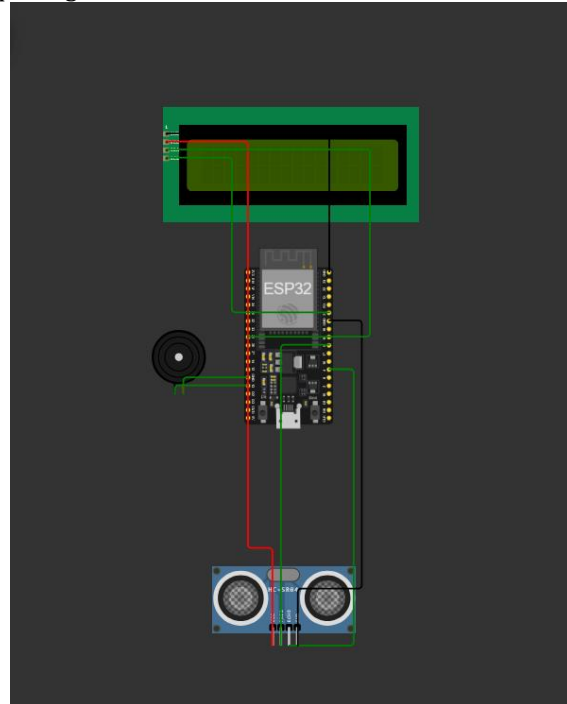
RESULTS AND DISCUSSION

Perancangan Dan Implementasi Rangkaian Hardware Bagian ini menjelaskan proses perancangan dan implementasi perangkat keras (*hardware*) yang menjadi fondasi utama sistem pemantauan debit air berbasis *Internet of Things* (IoT). Perancangan dilakukan untuk memastikan seluruh komponen elektronika seperti *Sensor Ultrasonik*, mikrokontroler ESP32, *Buzzer*, dan LCD dapat berfungsi secara terintegrasi dan mampu mengirimkan data ketinggian air ke *cloud platform* secara waktu nyata (*real time*).

Tahapan perancangan meliputi pembuatan diagram blok sistem, pengujian konektivitas antar-komponen, serta konfigurasi daya dan jalur komunikasi data. Implementasi dilakukan melalui simulasi awal menggunakan Wokwi sebelum sistem dirakit secara fisik di atas *breadboard*. Setiap komponen diuji secara individual untuk memastikan kestabilan sinyal dan ketepatan pengukuran sensor sebelum diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem.

Hasil perancangan dan implementasi perangkat keras ini menjadi dasar penting bagi tahap selanjutnya, yaitu pengumpulan data, integrasi dengan sistem *Machine Learning*, serta validasi performa sistem dalam kondisi lapangan. Adapun rangkaian hardware yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan

pada Gambar 2 sebagai bagian dari implementasi perangkat keras.



Gambar 2 Rangkaian Hardware

Gambar 2 menunjukkan rangkaian keseluruhan sistem monitoring ketinggian air berbasis mikrokontroler ESP32. Pada sistem ini, komponen utama terdiri atas *Sensor Ultrasonik* HC-SR04, mikrokontroler ESP32, modul LCD 16x2 dengan I2C, dan *Buzzer* aktif sebagai indikator peringatan.

Sensor Ultrasonik HC-SR04 terhubung ke pin digital ESP32 dan berfungsi mengukur jarak antara sensor dan permukaan air. Data hasil pembacaan dikirim ke ESP32 untuk diolah dan dikonversi menjadi nilai tinggi muka air. Nilai hasil pengukuran kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 melalui komunikasi I2C sehingga pengguna dapat memantau hasil secara langsung.

Selain itu, *Buzzer* terhubung ke salah satu pin *output* ESP32 dan berfungsi sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*). Ketika tinggi air mencapai ambang batas tertentu, ESP32 mengaktifkan *Buzzer* untuk memberikan notifikasi suara. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara *Real-time* dan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan konektivitas IoT (*Internet of Things*) agar data ketinggian air dikirim ke server cloud untuk analisis dan prediksi debit air menggunakan algoritma *Machine Learning*.

Pemasangan Dan Implementasi Alat Di Lapangan Setelah proses perancangan dan pengujian di laboratorium selesai, tahap berikutnya adalah pemasangan alat sistem monitoring debit air di lokasi penelitian. Pemasangan dilakukan pada struktur jembatan pintu air yang telah ditentukan sebelumnya, dengan mempertimbangkan

aksesibilitas, kestabilan posisi sensor, serta keamanan perangkat dari gangguan lingkungan seperti air dan panas matahari. Adapun pemasangan dan implementasi alat di lapangan ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai bagian dari implementasi perangkat keras.



Gambar 3 Pemasangan dan Implementasi Alat di Lapangan

Gambar 3 memperlihatkan perangkat *Sensor Ultrasonik* yang digunakan sebagai alat pengukur tinggi muka air pada saluran penelitian. Alat ini dipasang di sisi dinding saluran dengan posisi sensor menghadap langsung ke permukaan air untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air secara *Real-time*. Data hasil pengukuran dikirim ke mikrokontroler yang terpasang di dalam kotak akrilik transparan. Kotak pelindung berfungsi untuk melindungi komponen elektronik dari percikan air dan kondisi lingkungan luar. Pada bagian atas alat terdapat layar LCD yang menampilkan hasil pembacaan tinggi air secara langsung. Sensor ini dihubungkan dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) sehingga data dapat dikirim ke server untuk dianalisis menggunakan model pembelajaran mesin (Machine Learning), seperti algoritma Random Forest, guna memprediksi debit air secara otomatis.

Sistem Prediksi Debit Air IOT Dan Machine Learning Bagian ini menjelaskan tahapan integrasi antara sistem *Internet of Things (IoT)* dan algoritma *Machine Learning* dalam membangun sistem prediksi debit air bendungan secara waktu nyata (*real time*). Sistem ini dirancang untuk menggabungkan kemampuan akuisisi data dari perangkat IoT dengan kekuatan analisis data berbasis kecerdasan buatan.

Pada tahap ini, *Sensor Ultrasonik* yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pengumpul data ketinggian air yang dikirim ke *Blynk Cloud Dashboard*. Data yang terkumpul secara kontinu diekspor ke

lingkungan *Python* untuk diproses menggunakan algoritma *Random Forest Regression*. Model ini mempelajari pola historis perubahan ketinggian air dan menghasilkan prediksi tren debit air yang akan datang.

CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Sistem pemantauan debit air berbasis *Internet of Things (IoT)* berhasil dirancang menggunakan *Sensor Ultrasonik HC-SR04* dan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan *Blynk Cloud Dashboard*. Sistem ini mampu mengukur dan menampilkan data ketinggian air secara waktu nyata (*real time*) dengan tingkat akurasi tinggi serta kestabilan transmisi data yang baik.

Implementasi algoritma *Machine Learning* jenis *Random Forest Regression* telah berhasil digunakan untuk menganalisis data historis hasil pembacaan sensor IoT. Model ini mampu memprediksi tren perubahan debit air dengan tingkat akurasi yang tinggi, ditunjukkan oleh nilai R^2 dan *MAE* yang rendah pada hasil pengujian, sehingga sistem dapat berfungsi sebagai alat prediksi yang andal dalam konteks hidrologi.

Integrasi antara sistem IoT dan *Machine Learning* menghasilkan sistem prediksi debit air yang tidak hanya bersifat pemantauan, tetapi juga memiliki kemampuan analisis dan peringatan dini (*early warning system*). Hasil prediksi divisualisasikan dalam bentuk grafik tren debit air dan status kondisi (Aman, Waspada, Bahaya) yang dapat membantu pengelola bendungan dalam pengambilan keputusan cepat dan efektif untuk mitigasi risiko banjir.

REFERENCE

- [1] IPCC, H. Lee, and J. Romero, "Climate Change 2023 Synthesis Report: Summary for Policymakers. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," *Ipcc, Wmo & Unep*, pp. 1–34, 2023.
- [2] R. Wiryasaputra, C. Y. Huang, Y. J. Lin, and C. T. Yang, "An IoT Real-Time Potable Water Quality Monitoring and Prediction Model Based on Cloud Computing Architecture," *Sensors*, vol. 24, no. 4, pp. 1–13, 2024, doi: 10.3390/s24041180.
- [3] A. Biglari and W. Tang, "A Review of Embedded Machine Learning Based on Hardware, Application, and Sensing Scheme," *Sensors*, vol. 23, no. 4, 2023, doi: 10.3390/s23042131.

- [4] S. Güneş Şen, "Machine Learning-Based Water Level Forecast in a Dam Reservoir: A Case Study of Karaçomak Dam in the Kızılırmak Basin, Türkiye," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 18, 2025, doi: 10.3390/su17188378.
- [5] M. N. Adli Zakaria *et al.*, "Exploring machine learning algorithms for accurate water level forecasting in Muda river, Malaysia," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, p. e17689, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17689.
- [6] F. Frisk and O. Johansson, "Comparative Evaluation of Water Level Forecasting Using IoT Sensor Data: Hydrodynamic Model SWMM vs. Machine Learning Models Based on NARX Framework," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 19, 2024, doi: 10.3390/w16192776.
- [7] E. T. de Camargo *et al.*, "Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review," *Sensors*, vol. 23, no. 9, pp. 1–27, 2023, doi: 10.3390/s23094424.