

Analisis Tren Temporal Korosivitas Air Waduk Saguling Menggunakan Metode LSI dan Statistik Parametrik

Eka Wardhani^{1,2}, Dhea Melinda^{1*}, Athaya Zahrani Irmansyah³, Kancitra Pharmawati^{1,2}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Pusat Kolaborasi Riset Daya Dukung Lingkungan Berkelanjutan BRIN-ITENAS Bandung

³Program Studi Matematika, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung

*Koresponden email: dheamelindaitenas@gmail.com

Diterima: 14 Mei 2026

Disetujui: 25 Mei 2026

Abstract

The Saguling Hydroelectric Power Plant intake is already exposed to pollution loads from the Upper Citarum River Basin, which is feared to potentially increase water corrosivity and damage the plant's infrastructure. This study aims to assess temporal trends in water corrosivity using the Langelier Saturation Index (LSI) and parametric statistics. The water quality data used were collected from 2004 to 2019 during the rainy and dry seasons, focusing on five key corrosion parameters: pH, Temperature, TDS, HCO_3^- and Ca. Measurement results show that the average pH is 7.31 ± 0.52 (rainy season) and 7.60 ± 0.76 (dry season); the average TDS is 201.03 mg/L (rainy season) and 151.07 mg/L (dry season); average CaCO_3 was 60.14 mg/L (rainy season) and 40.38 mg/L (dry season); and Ca^{2+} was 24.07 and 16.16 mg/L, respectively. This indicates that the LSI values are consistently negative, with an average LSI value during the rainy season of -2.39 and an LSI value during the dry season of -2.17. These conditions indicate that Saguling Reservoir has corrosive potential throughout the period. The LSI regression equations $y = -0.0311x + 60.213$ (during the rainy season) and $y = -0.0174x + 32.788$ (during the dry season) also indicate that the potential for corrosion is more pronounced during the rainy season. To reduce the risk of long-term operational corrosion, periodic water quality monitoring and the implementation of strategies to control pollution sources causing corrosion are required.

Keywords: *langelier saturation index (lsi), water corrosivity, reservoir water quality, saguling reservoir, temporal trends*

Abstrak

Intake PLTA Saguling sudah terpapar beban pencemaran dari DAS Citarum Hulu yang berpotensi meningkatkan korosivitas air dan merusak infrastruktur pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk menilai tren temporal korosivitas air dengan menggunakan metoda *Langelier Saturation Index* (LSI) atau Indeks Jenuh Langelier dan statistik parametrik. Data kualitas air yang digunakan adalah data dari tahun 2004 – 2019 pada musim hujan dan musim kemarau dengan mengidentifikasi lima parameter kunci korosivitas yaitu pH, temperatur, TDS, HCO_3^- dan Ca. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata pH adalah $7,31 \pm 0,52$ (musim hujan) dan $7,60 \pm 0,76$ (musim kemarau); rata-rata TDS 201,03 mg/L (musim hujan) dan 151,07 mg/L (musim kemarau); Ca^{2+} masing-masing 24,07 dan 16,16 mg/L. Hal ini menginformasikan bahwa nilai LSI konsisten negatif dengan rerata nilai LSI pada musim hujan: -2.39 dan LSI pada musim kemarau: -2,17. Kondisi ini menunjukkan bahwa Waduk Saguling berpotensi korosif sepanjang periode. Persamaan regresi LSI pada musim hujan, $y = -0.0311x + 60.213$ dan $y = -0.0174x + 32.788$ (musim kemarau) juga menunjukkan bahwa potensi terjadinya korosi lebih nyata pada musim hujan. Langkah untuk mengurangi resiko korosif operasional jangka panjang dibutuhkan pemantauan kualitas air berkala dan penerapan strategi pengendalian sumber pencemar penyebab korosif.

Kata Kunci: *langelier saturation index (lsi), korosivitas air, kualitas air waduk, waduk saguling, tren temporal*

1. Latar Belakang

Waduk Saguling merupakan salah satu waduk yang dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang dikelola oleh PT. Indonesia Power. PLTA Saguling terletak di wilayah Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat serta menjadi bagian dari sistem waduk kaskade Sungai Citarum [1]. Kapasitas terpasang PLTA Saguling sebesar 700 MW memberikan kontribusi sekitar 2,5% terhadap total kapasitas sistem kelistrikan Jawa-Bali yang mencapai 27.700 MW. Waduk ini memiliki luas ± 5.600 ha pada elevasi ± 645 meter di atas permukaan laut dan mulai beroperasi sejak tahun 1988 [2]. Sumber utama air Waduk

Saguling berasal dari Sungai Citarum Hulu, yang merupakan segmen Sungai Citarum sepanjang sekitar 77 km. Segmen sungai ini membentang dari hulu Sungai Citarum di Situ Cisanti, Kecamatan Kertasari, Kabupaten Bandung hingga Nanjung yang berfungsi sebagai inlet Waduk Saguling [1]. Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum Hulu berada di kawasan Cekungan Bandung [1] [3]. Kualitas air Waduk Saguling sangat dipengaruhi oleh kuantitas dan kualitas air Sungai Citarum yang masuk ke dalam waduk [4]. Berbagai aktivitas di sepanjang daerah aliran Sungai Citarum dan sekitar Waduk Saguling, seperti pembuangan limbah industri dan domestik, kegiatan pertanian, peternakan, pertambangan, serta sisa pakan dari kegiatan budidaya ikan menggunakan Keramba Jaring Apung (KJA), memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan [4]. Aktivitas-aktivitas tersebut menghasilkan limbah yang mengandung bahan organik, logam berat dan berpotensi menurunkan kualitas air waduk [5].

Salah satu aspek penting dari penurunan kualitas air adalah meningkatnya tingkat korosivitas air. Air yang bersifat korosif dapat mempercepat kerusakan pada konstruksi bendungan dan peralatan PLTA, seperti pipa, turbin, serta sistem pendingin [6]. Korosivitas air umumnya dipengaruhi oleh karakteristik fisika dan kimia perairan, terutama nilai pH, kandungan ion terlarut, suhu, serta keberadaan gas terlarut tertentu. Air dengan nilai pH yang bersifat asam diketahui memiliki potensi korosif yang lebih tinggi [6]. Selain itu, kondisi perairan yang asam juga dapat meningkatkan kelarutan dan toksisitas logam berat, sehingga tidak hanya berdampak pada peralatan PLTA, tetapi juga pada ekosistem perairan waduk [7]. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perairan Waduk Saguling secara umum telah bersifat korosif [8]. Kondisi tersebut menunjukkan adanya potensi kerusakan pada infrastruktur yang berkaitan dengan pemanfaatan air, khususnya pada material logam yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA) maupun fasilitas lainnya [8]. Dampak korosivitas air berlangsung dalam jangka panjang berpotensi menurunkan efisiensi operasional pembangkit serta meningkatkan biaya pemeliharaan [8].

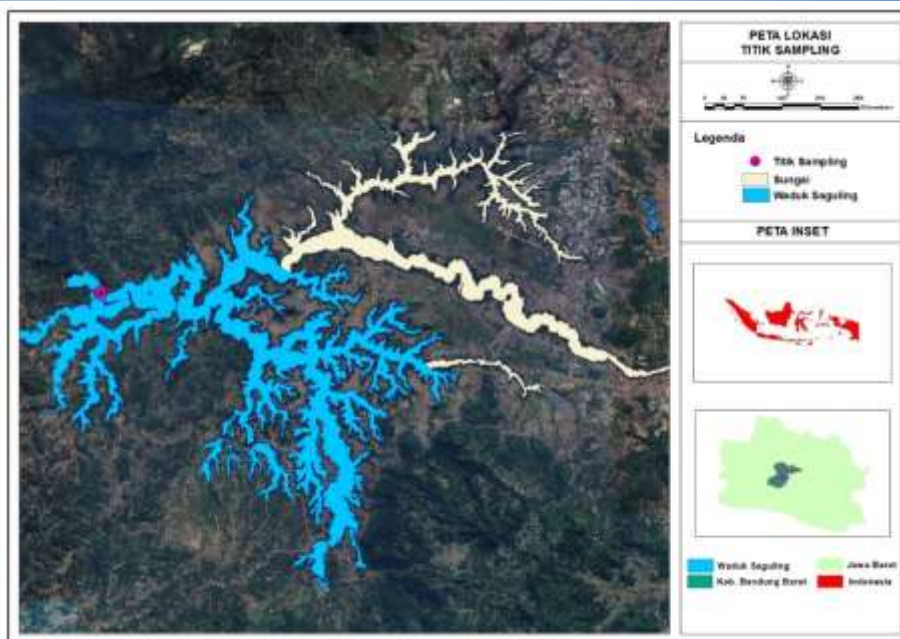
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada kajian kecenderungan tingkat korosivitas air di Waduk Saguling. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi pengelolaan kualitas air guna meminimalkan dampak korosivitas air terhadap operasional PLTA Saguling dan keberlanjutan fungsi waduk. Ruang lingkup penelitian meliputi: lokasi di titik intake PLTA Waduk Saguling, metode perhitungan korosifitas menggunakan metode *Langelier Saturation Index* (LSI), data kualitas air dari tahun 2004-2019 pada musim hujan dan kemarau dari PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Saguling.

2. Metode Penelitian

Survei pendahuluan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengamati kondisi eksisting perairan Waduk Saguling guna mengidentifikasi sumber-sumber pencemar di sekitar lokasi pengambilan sampel baik yang berasal dari aktivitas domestik, industri, maupun kegiatan lainnya yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas air. Selain itu, survei pendahuluan juga dilakukan untuk mengidentifikasi jenis serta kondisi peralatan PLTA yang berpotensi terdampak oleh tingginya tingkat korosivitas air. Data penelitian berasal dari PT Indonesia Power Unit Pembangkit (UP) Saguling dari tahun 2004-2019 di 2 kali pengukuran mewakili musim hujan dan kemarau. Lokasi penelitian dipilih di titik pengukuran paling dekat dengan *Intake Structure* pada koordinat 107°22'25,9"LS dan 06°54'55,0"BT seperti terlihat pada **Gambar 1**.

Selain data kualitas air, penelitian ini juga memanfaatkan informasi terkait dampak yang telah teramati pada beberapa peralatan di PLTA Saguling. Data tersebut mencakup indikasi kerusakan, penurunan kinerja, maupun gejala korosi atau pembentukan kerak pada peralatan, yang diduga berkaitan dengan kondisi kualitas air waduk. Informasi ini menjadi penting untuk mengkaji hubungan antara karakteristik kimia air dengan dampaknya terhadap infrastruktur pembangkit. Analisis Data menggunakan metode LSI, metode ini merupakan indikator yang digunakan untuk menentukan tingkat kejenuhan kalsium karbonat (CaCO_3) dalam perairan [8] [9]. Berdasarkan parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap kecenderungan air bersifat korosif, stabil, atau berpotensi membentuk kerak [9]. Hasil analisis dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi dampak korosivitas air terhadap peralatan PLTA serta kondisi perairan Waduk Saguling, sehingga dapat disusun rekomendasi terkait pengelolaan kualitas air guna meminimalkan dampak yang ditimbulkan. Perhitungan nilai LSI dilakukan dengan persamaan 1 [9].

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad [1]$$



Gambar 1. Lokasi Titik Sampling

Sumber: Arcgis, 2026

Keterangan, pH merupakan nilai derajat keasaman air, sedangkan pHs merupakan nilai pH saturasi. Perhitungan pHs dilakukan dengan menggunakan persamaan 2. Penjelasan masing-masing notasi disajikan pada persamaan 3-6.

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad [2]$$

Dimana:

$$A = (\log[TDS] - 1) \quad [3]$$

$$B = -13,12 \times \log(^{\circ}C + 273) + 34,55 \quad [4]$$

$$C = \log[Ca^{2+} \text{ sebagai } CaCO_3] - 0,4 \quad [5]$$

$$D = \log[\text{Alkalinitas sebagai } CaCO_3] \quad [6]$$

Keterangan untuk persamaan 2-6 yaitu: angka 9,3 merupakan konstanta yang berasal dari hubungan kesetimbangan kimia $CaCO_3$ dalam air pada kondisi standar. Huruf A adalah faktor yang dipengaruhi oleh *Total Dissolved Solids* (TDS). B adalah faktor yang dipengaruhi oleh temperatur air. Huruf C adalah faktor yang dipengaruhi oleh konsentrasi kalsium (Ca^{2+}) sebagai $CaCO_3$. Huruf D adalah faktor yang dipengaruhi oleh alkalinitas sebagai $CaCO_3$. Penilaian terhadap hasil perhitungan LSI merupakan hasil akhir dalam menentukan tingkat korosivitas air [9]. Penilaian tersebut mengacu pada kriteria yang disajikan **Tabel 1**.

Tabel 1. Tingkat korosivitas air berdasarkan LSI

Nilai LSI	Tingkat Korosivitas Air
LSI < 0	Berpotensi Korosi
LSI = 0	Stabil
LSI > 0	Berpotensi Membentuk Kerak

Sumber: [9]

Data LSI dari tahun 2004-2019 dianalisa secara statistik deskriptif dan parametrik dengan menggunakan uji *paired sample t-test* sehingga diketahui kecenderungan data tahun 2004-2019, beda data antara dua musim (hujan dan kemarau). Hasil analisis LSI digunakan untuk mengevaluasi potensi korosi air terhadap peralatan PLTA Saguling, seperti turbin, pipa, dan komponen logam lainnya, serta untuk mengetahui kondisi kimia perairan waduk yang dapat memengaruhi proses korosi.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan persamaan 1-6 parameter yang menentukan LSI yaitu pH, temperatur, TDS, HCO_3^- dan Ca^{2+} . **Tabel 2** dan **3** menyajikan fluktuasi data untuk 6 parameter tersebut musim hujan dan kemarau. Musim hujan nilai rata-rata untuk pH $7,31 \pm 0,52$, temperature $26,86 \pm 0,69$, TDS $201,03 \pm 95,82$, HCO_3^- $101,32 \pm 34,53$ dan Ca $24,07 \pm 10,06$. Berdasarkan **Tabel 3** pada musim kemarau nilai rata-rata untuk pH

7,60 ± 0,76, temperatur 26,92 ± 0,62, TDS 151,07 ± 40,39, HCO₃ 98,85 ± 47,17 dan Ca²⁺ 16,16 ± 4,56. Gambaran data 6 parameter disajikan pada **Gambar 2**.

Tabel 2. Parameter Kualitas Air Penentu LSI di Waduk Saguling Musim Hujan

Tahun	pH	Temperatur	TDS	HCO ₃	Ca
2004	6,46	26,20	155	138,50	24,02
2005	6,89	27,20	215	173,59	26,00
2006	7,33	26,20	148	127,42	25,89
2007	7,46	25,80	170	140,35	18,95
2008	8,00	26,40	179	132,96	17,20
2009	8,10	27,60	109,94	103,40	19,48
2010	8,18	27,20	122,30	73,87	10,67
2011	7,63	26,56	193	107,76	16,81
2012	7,28	26,30	203,32	77,56	17,35
2013	6,54	27,80	117	58,17	23,86
2014	7,12	26,70	213	77,56	24,46
2015	7,35	27,30	118	55,40	9,15
2016	7,07	26,30	189	72,02	42,45
2017	6,61	28,40	233	66,48	26,91
2018	7,35	26,80	409	110,80	40,64
2019	7,54	27,00	442	105,26	41,25
rata	7,31	26,86	201,03	101,32	24,07
max	8,18	28,40	442	173,59	42,45
min	6,46	25,80	109,94	55,40	9,15
Standar Deviasi	0,52	0,69	95,82	34,53	10,06

Keterangan: Baku Mutu pH berada pada kisaran 6-9, deviasi temperatur sebesar ±3°C, dan TDS 1.000 mg/L. Parameter HCO₃⁻ dan Ca²⁺ tidak tercantum dalam baku mutu. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Bagian 2 mengenai baku mutu air danau dan sejenisnya untuk kelas IV.

Tabel 3. Parameter Kualitas Air Penentu LSI di Waduk Saguling Musim Kemarau

Tahun	pH	Temperatur	TDS	HCO ₃	Ca
2004	7,27	26,80	166	160,66	15,48
2005	7,51	27,40	199	173,59	19,48
2006	7,32	26,80	179	173,59	19,75
2007	7,63	26,00	183	166,20	15,20
2008	7,91	26,80	141	114,49	17,20
2009	8,42	26,90	92	83,10	10,92
2010	7,31	27,30	158,70	100,64	14,41
2011	7,61	26,80	206,54	114,49	14,41
2012	7,73	27,10	193	48,94	14,94
2013	6,66	26,70	130	88,64	19,55
2014	8,44	27,20	99	47,09	21,60
2015	6,37	27,90	117	55,40	11,98
2016	7,04	27,10	117	66,48	11,65
2017	9,62	28,00	111	66,48	9,25
2018	7,36	25,60	209	83,10	27,33
2019	7,50	26,30	115,93	38,78	15,32
rata	7,61	26,92	151,07	98,85	16,15
max	9,62	28,00	209	173,59	27,33
min	6,37	25,60	92	38,78	9,25
Standar Deviasi	0,76	0,62	40,39	47,17	4,57

Keterangan: Baku Mutu pH berada pada kisaran 6-9, deviasi temperatur sebesar ±3°C, dan TDS 1000 mg/L. Parameter HCO₃⁻ dan Ca²⁺ tidak tercantum dalam baku mutu. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Bagian 2 mengenai baku mutu air danau dan sejenisnya untuk kelas IV.



Gambar 2. Profil Parameter Kualitas Air Penentu LSI di Waduk Saguling Musim Hujan dan Kemarau

Nilai pH

Musim hujan nilai rata-rata untuk pH sebesar $7,31 \pm 0,52$ dan musim kemarau sebesar $7,60 \pm 0,76$. Nilai tersebut masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Bagian 2 mengenai baku mutu air danau dan sejenisnya untuk kelas IV yaitu 6,0–9,0. Berdasarkan **Gambar 2a** dari tahun 2004-2019 kecenderungan nilai pH konstan pada musim hujan dan kemarau, hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi perairan Waduk Saguling relatif stabil secara kimiawi, baik pada musim hujan maupun kemarau. Nilai pH yang berada pada kisaran netral hingga sedikit basa mengindikasikan bahwa sistem perairan memiliki kemampuan penyangga (*buffering capacity*) yang cukup baik, sehingga perubahan kondisi lingkungan seperti peningkatan curah hujan atau penurunan volume air tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap fluktuasi pH.

Kecenderungan nilai pH yang konstan juga mengindikasikan bahwa aktivitas biologis dan masukan bahan pencemar ke dalam waduk tidak menyebabkan perubahan drastis terhadap kondisi keasaman air. Musim hujan, meskipun terjadi peningkatan aliran limpasan yang berpotensi membawa bahan organik maupun anorganik, proses pencampuran massa air (*mixing*) mampu menjaga kestabilan pH. Musim kemarau, meskipun terjadi peningkatan evaporasi yang dapat mempengaruhi konsentrasi zat terlarut, nilai pH tetap berada dalam kisaran yang relatif stabil.

Temperatur

Musim hujan nilai rata-rata temperatur sebesar $26,86 \pm 0,69$ °C dan musim kemarau $26,92 \pm 0,62$ °C. Nilai tersebut masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Bagian 2 mengenai baku mutu air danau dan sejenisnya untuk kelas IV yaitu deviasi temperatur sebesar ± 3 °C. Berdasarkan **Gambar 2b** dari tahun 2004-2019 kecenderungan nilai temperatur menunjukkan pola fluktuatif namun relatif stabil, baik pada musim hujan maupun kemarau. Pola tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor pengontrol suhu air, seperti suhu udara, kelembaban, curah hujan, kecepatan angin, serta intensitas radiasi matahari [10]. Perbedaan rata-rata temperatur antara musim hujan dan kemarau tidak signifikan, secara umum temperatur pada musim hujan cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan musim kemarau.

Kondisi ini berkaitan dengan rendahnya intensitas penyinaran matahari pada musim hujan, sehingga energi panas yang diserap oleh badan air menjadi lebih kecil dan berdampak pada penurunan suhu air. Musim kemarau, intensitas penyinaran matahari yang lebih tinggi dan suhu udara yang lebih besar meningkatkan penyerapan energi panas ke dalam perairan [10], sehingga temperatur cenderung sedikit lebih tinggi meskipun pada grafik tidak terlalu kontras. Selain faktor iklim, kondisi lingkungan sekitar, seperti kerapatan vegetasi di sekitar badan air, juga turut memengaruhi variasi temperatur, di mana area yang lebih terbuka memungkinkan radiasi matahari langsung meningkatkan suhu air. Berdasarkan hal tersebut, pola temperatur yang ditunjukkan pada **Gambar 2b** konsisten dengan teori dan hasil penelitian sebelumnya, bahwa variasi suhu air dipengaruhi oleh interaksi antara faktor iklim dan kondisi fisik lingkungan. Meskipun demikian, seluruh nilai temperatur masih berada dalam kisaran baku mutu, sehingga tidak mengindikasikan adanya gangguan signifikan terhadap kualitas perairan Waduk Saguling.

Total Dissolved Solids (TDS)

Musim hujan nilai rata-rata untuk TDS sebesar $201,03 \pm 95,82$ dan musim kemarau sebesar $151,07 \pm 40,39$. Nilai tersebut masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Bagian 2 mengenai baku mutu air danau dan sejenisnya untuk kelas IV yaitu sebesar 1000 mg/L. Berdasarkan **Gambar 2c** dari tahun 2004-2019 kecenderungan nilai TDS menunjukkan pola fluktuatif dengan tren meningkat pada musim hujan. Garis tren pada musim hujan memperlihatkan kecenderungan meningkat ($y = 11,788x - 23510$; $R^2 = 0,343$), yang mengindikasikan adanya peningkatan konsentrasi padatan terlarut dari waktu ke waktu, meskipun hubungan tersebut tergolong sedang. Hal ini terlihat jelas pada beberapa tahun terakhir (sekitar 2017-2019) di mana nilai TDS meningkat cukup signifikan dibandingkan tahun-tahun sebelumnya.

Sebaliknya, pada musim kemarau, garis tren menunjukkan kecenderungan menurun ($y = -3,229x + 6646,1$; $R^2 = 0,1448$), meskipun hubungannya lemah, sehingga perubahan TDS pada musim kemarau relatif tidak konsisten. Perbedaan nilai rata-rata TDS yang lebih tinggi pada musim hujan dibandingkan musim kemarau menunjukkan bahwa curah hujan berperan penting dalam meningkatkan konsentrasi padatan terlarut di perairan. Air hujan dapat membawa material dari limpasan permukaan seperti tanah, bahan organik, dan polutan ke dalam badan air, sehingga meningkatkan nilai TDS [11]. Hal ini sesuai dengan pola pada grafik yang menunjukkan lonjakan nilai pada musim hujan di beberapa periode. Meskipun seluruh nilai masih memenuhi baku mutu (≤ 1.000 mg/L), tren peningkatan pada musim hujan menunjukkan adanya tekanan kualitas air yang perlu diperhatikan, terutama dalam konteks pengelolaan DAS dan pengendalian sumber pencemar agar kondisi waduk tetap terjaga.

HCO₃⁻

Pada musim hujan nilai rata-rata untuk HCO₃⁻ sebesar $101,32 \pm 34,53$ dan musim kemarau sebesar $98,85 \pm 47,17$. Berdasarkan **Gambar 2d** dari tahun 2004-2019 kecenderungan nilai HCO₃⁻ menunjukkan pola fluktuatif dengan tren menurun pada kedua musim. Meskipun nilai rata-rata pada musim hujan dan kemarau relatif tidak berbeda signifikan, secara visual terlihat bahwa pada beberapa periode, terutama setelah tahun 2010, konsentrasi HCO₃⁻ pada musim hujan cenderung lebih rendah dibandingkan musim kemarau. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh musim terhadap konsentrasi bikarbonat tetap ada, meskipun tidak konsisten pada setiap tahun pengamatan. Musim merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kandungan ion bikarbonat dalam perairan, di mana pada musim hujan konsentrasi HCO₃⁻ cenderung menurun akibat proses pengenceran oleh air hujan, sedangkan pada musim kemarau konsentrasi meningkat karena berkurangnya volume air dan meningkatnya konsentrasi zat terlarut [12]. Pola pada grafik Waduk Saguling secara umum mencerminkan fenomena tersebut, meskipun terdapat variasi yang

dipengaruhi oleh faktor lain seperti masukan dari daerah aliran sungai, aktivitas di sekitar waduk, serta proses biogeokimia di dalam perairan.

Ca²⁺

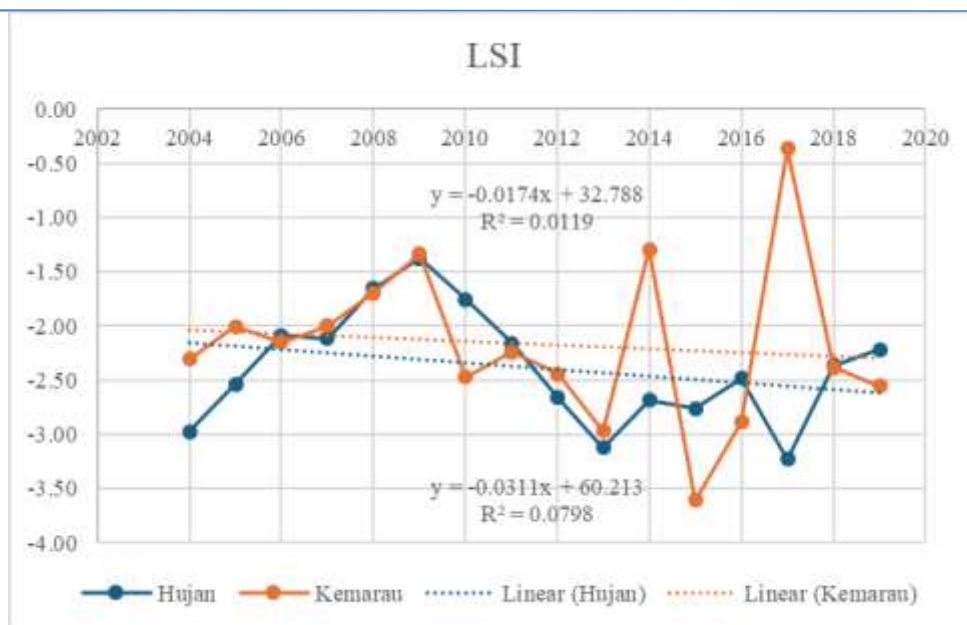
Pada musim hujan nilai rata-rata untuk Ca²⁺ sebesar $24,07 \pm 10,06$ dan musim kemarau sebesar $16,16 \pm 4,56$. Berdasarkan **Gambar 2e** dari tahun 2004-2019 kecenderungan nilai Ca²⁺ menunjukkan pola fluktuatif dengan tren yang cenderung meningkat pada musim hujan. Hal ini terlihat dari garis tren yang memiliki kemiringan positif ($y = 1,0004x - 1988,2$; $R^2 = 0,2242$), meskipun kekuatan hubungannya tergolong lemah. Secara visual, peningkatan nilai Ca²⁺ cukup menonjol pada beberapa tahun tertentu, terutama setelah tahun 2015, di mana terjadi lonjakan yang signifikan dibandingkan periode sebelumnya. Sementara itu, pada musim kemarau, tren cenderung menurun sangat lemah ($R^2 = 0,0005$), yang menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi Ca²⁺ relatif tidak signifikan dari tahun ke tahun. Nilai rata-rata Ca²⁺ yang lebih tinggi pada musim hujan dibandingkan musim kemarau mengindikasikan adanya pengaruh masukan dari daerah aliran sungai pada saat curah hujan meningkat.

Limpasan permukaan pada musim hujan membawa material terlarut, termasuk ion kalsium yang berasal dari pelapukan batuan dan tanah di wilayah hulu, sehingga meningkatkan konsentrasi Ca²⁺ di perairan waduk. Pola pada **Gambar 2e** juga menunjukkan bahwa variasi nilai Ca²⁺ tidak hanya dipengaruhi oleh musim, tetapi juga oleh faktor lain seperti kondisi geologi, aktivitas di sekitar waduk, serta proses kimia di dalam perairan, sehingga menghasilkan fluktuasi yang cukup dinamis sepanjang periode pengamatan [13]. Proses pencucian batuan saat terjadi hujan dapat meningkatkan kandungan ion kalsium di perairan, sedangkan masuknya limbah dari aktivitas penduduk, pertanian, peternakan, dan industri turut berkontribusi terhadap variasi konsentrasi Ca²⁺ [13]. Dengan demikian, fluktuasi yang terlihat pada grafik mencerminkan kombinasi antara faktor alami dan aktivitas manusia yang memengaruhi dinamika kimia perairan Waduk Saguling.

LSI

Korosi merupakan proses degradasi atau kerusakan material yang terjadi akibat pengaruh lingkungan di sekitarnya [14]. Korosivitas air sangat dipengaruhi oleh kualitas air konsentrasi ion-ion agresif yang terlarut meliputi gas oksigen, karbon dioksida, garam-garam/padatan terlarut (TDS), padatan tersuspensi (TSS), pH dan temperatur. Kesadahan bikarbonat /non-bikarbonat, konsentrasi ion Cl⁻, SO₄⁻ yang terkandung dalam air sangat bervariasi tergantung lokasi, sumber air baku, dan iklim [15]. Kerugian yang ditimbulkan oleh korosi mencakup aspek finansial dan keselamatan, antara lain berupa penurunan ketahanan material, penipisan atau pengikisan permukaan, terjadinya waktu henti (*downtime*) peralatan, timbulnya retakan dan pitting, kebocoran, penggetasan material, penurunan kinerja permukaan material, berkurangnya nilai guna, serta perubahan sifat material [16].

Angka korosi di Waduk Saguling yang disajikan pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa nilai LSI selama periode 2004–2019 cenderung berada pada kisaran negatif, baik pada musim hujan maupun kemarau. Nilai LSI yang negatif mengindikasikan bahwa air bersifat korosif [9], artinya memiliki kecenderungan untuk melarutkan mineral seperti kalsium karbonat dari pipa atau struktur yang bersentuhan dengan air. Secara umum, nilai LSI pada musim hujan terlihat lebih rendah (lebih negatif) dibandingkan musim kemarau, yang menunjukkan tingkat korosivitas yang lebih tinggi pada musim hujan. Kecenderungan menunjukkan terjadi penurunan LSI pada kedua musim, meskipun dengan kekuatan hubungan yang lemah (R^2 rendah), sehingga perubahan dari tahun ke tahun tidak terlalu signifikan. Fluktuasi nilai yang cukup tajam, terutama pada musim kemarau, menunjukkan adanya pengaruh faktor lingkungan yang dinamis, seperti perubahan komposisi kimia air, konsentrasi ion, serta kondisi fisik perairan. Nilai LSI yang terus berada di bawah nol mengindikasikan bahwa perairan Waduk Saguling secara umum bersifat tidak jenuh terhadap kalsium karbonat, sehingga berpotensi menyebabkan korosi pada infrastruktur perairan [9]. Kondisi ini penting untuk diperhatikan dalam pengelolaan waduk, terutama terkait pemanfaatan air dan perlindungan terhadap fasilitas yang berinteraksi langsung dengan air waduk.



Gambar 3. LSI Waduk Saguling dekat *Intake Structure* PLTA Musim Hujan dan Kemarau

Langkah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai LSI pada musim hujan dan kemarau di Waduk Saguling, dilakukan analisis statistik menggunakan uji *paired sample t-test*. Uji ini digunakan untuk membandingkan dua kelompok data yang berpasangan, sehingga dapat diketahui apakah perbedaan rata-rata antara kedua musim tersebut terjadi secara signifikan atau hanya disebabkan oleh variasi data [17]. **Gambar 4** menyajikan hasil uji *paired sample t-test*.

Paired Samples Test									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	LSI Musim Hujan - LSI Musim Kemarau	-.21750	.88324	.22081	-.68815	.25315	-.985	15	.340

Gambar 4. Hasil Uji Paired Samples Test

Berdasarkan hasil uji *paired sample t-test* (**Gambar 4**) pada nilai LSI di Waduk Saguling, diperoleh nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar 0,340, yang lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara nilai LSI pada musim hujan dan kemarau [18]. Meskipun secara deskriptif pada grafik terlihat bahwa nilai LSI musim hujan cenderung lebih rendah (lebih korosif) dibandingkan musim kemarau, perbedaan tersebut tidak cukup kuat untuk dinyatakan signifikan secara statistik. Nilai rata-rata selisih sebesar -0,21750 juga menunjukkan bahwa LSI musim hujan sedikit lebih rendah dibandingkan musim kemarau, namun variasi data yang cukup besar (ditunjukkan oleh standar deviasi) menyebabkan perbedaan ini tidak signifikan. Hasil uji t memperkuat interpretasi dari grafik bahwa fluktuasi nilai LSI lebih dipengaruhi oleh variasi tahunan daripada perbedaan musim. Artinya, tingkat korosivitas air di Waduk Saguling relatif tidak berbeda secara nyata antara musim hujan dan kemarau, meskipun keduanya tetap berada dalam kondisi korosif (LSI negatif).

4. Kesimpulan

Konklusif dari proses analisis dapat dinyatakan bahwa analisis parameter LSI konsisten negatif pada kedua musim (rata-rata LSI hujan: -2,39; kemarau: -2,17), sehingga perairan waduk sepanjang periode berpotensi korosif terhadap material dan peralatan PLTA. Persamaan regresi juga menunjukkan trend kemiringan negatif yang lebih besar pada musim hujan ($y = -0.0311x + 60.213$) dibandingkan kemarau ($y = -0.0174x + 32.788$), meskipun nilai koefisien determinasi (R^2 hujan: 0,0798; R^2 kemarau: 0.019) rendah, sehingga selain parameter pH, TDS, HCO_3^- dan Ca^{2+} mungkin ada parameter lain yang menyebabkan korosivitas air. Upaya untuk mengurangi dampak ini perlu adanya pengendalian sumber pencemar di DAS Citarum Hulu untuk mengurangi input ion/organik penyebab korosivitas, pemantauan kualitas berkala yang berfokus pada parameter pembentuk LSI dan proteksi korosif dengan penyesuaian material dan peralatan PLTA.

5. Daftar Pustaka

- [1] E. Wardhani, D. Roosmini, and S. Notodarmojo, "Calculation of heavy metals pollution load enters to Saguling dam West Java Province," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 802, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/802/1/012032.
- [2] M. R. F. Khalawi, "Optimasi Pola Operasi Produksi Listrik Waduk Saguling," *J. Tek. Sipil*, vol. 29, no. 3, pp. 271–278, 2022, doi: 10.5614/jts.2022.29.3.9.
- [3] H. Arey, E. Wardhani, and F. D. Qonita, "Analisis Kualitas Air Waduk Saguling untuk Memenuhi Kebutuhan Air di Kota Bandung," *Peran. Rekayasa dan Desain Dalam Pembang. Nas. Berkelanjutan, Pros. Semin. Nas.*, vol. 2, pp. 3–10, 2017, [Online]. Available: [http://eprints.itenas.ac.id/1750/1/Analisis Kualitas Air Waduk Saguling untuk memenuhi Kebutuhan Air di Kota Bandung %28Jurnal%29.pdf](http://eprints.itenas.ac.id/1750/1/Analisis_Kualitas_Air_Waduk_Saguling_untuk_memenuhi_Kebutuhan_Air_di_Kota_Bandung_%28Jurnal%29.pdf)
- [4] E. Wardhani, R. T. Rosmalina, D. R. Wulan, F. Dara, R. N. Lanang, and A. Z. Irmansyah, "Assessment of Heavy Metal Pollution Status in the Middle Sector of the Citarum River," *Int. J. Geomate*, vol. 25, no. 110, pp. 200–207, 2023, doi: 10.21660/2023.110.3972.
- [5] R. W. Paramita, E. Wardhani, and K. Pharmawati, "Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) di Air Permukaan dan Sedimen : Studi Kasus Waduk Saguling Jawa Barat," *Reka Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 1–12, 2017.
- [6] Purwono, W. Oktawan, T. Istirokhatun, and A. Nurfaiz, "Tingkat Korosifitas Air Permukaan Hilir Rawa Pening pada Musim Kemarau dan Penghujan," *J. Presipitasi*, vol. 17, no. 3, pp. 215–222, 2020.
- [7] R. Robi, A. Aritionang, and M. S. Juane Sofiana, "Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat," *J. Laut Khatulistiwa*, vol. 4, no. 1, p. 20, 2021, doi: 10.26418/lkuntan.v4i1.44922.
- [8] S. P. Amani, E. Wardhani, and F. D. Qonita, "Analisis Korosifitas Air Waduk Saguling dengan Metode Langelier Saturation Index," in *Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air*, 2019.
- [9] Musmuliadi, "Pencegahan Terbentuknya Produk Scale Pada Pipa Produksi Area Minas Dengan Injeksi Chemical Scale Inhibitor," *Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 69–76, 2020.
- [10] A. A. M. Solo and O. G. L. Manulanga, "Analisis Kualitas Air DAS Kali Dendeng pada Musim Hujan dan Kemarau," *Envirotechsains J. Tek. Lingkungan*, vol. 1, no. 1, pp. 10–17, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal-unisap.ac.id/index.php/envirotechsains/article/view/31/15>
- [11] A. R. Singkam, "Tinjauan Kualitas Air Tanah di Kampus Kandang Limun Universitas Bengkulu," *Kinabalu*, vol. 11, no. 2, pp. 50–57, 2020.
- [12] R. G. Perdana and N. E. Susanti, "Variasi Temporal Kandungan HCO₃⁻ Terlarut Pada Mata Air Sendang Biru dan Mata Air Beji di Kecamatan Sumbermanjing Wetan dan Kecamatan Gedangan," *J. Pendidik. Geogr.*, no. 1, pp. 16–21, 2017.
- [13] S. S. Brahmana and F. Achmad, "Potensi Beban Pencemaran Nitrogen, Fosfat, Kualitas Air, Status Trofik Dan Stratifikasi Waduk Riam Kanan," *J. Sumber Daya Air*, vol. 8, no. 1, pp. 53–66, 2018, doi: 10.32679/jsda.v8i1.356.
- [14] M. Moelyo, "Tingkat Korosifitas Air Terhadap Infrastruktur Sumberdaya Air Menurut DIN 4030 Dan Langelier Saturation Index," *J. Sumber Daya Air*, vol. 8, no. 2, pp. 187–200, 2018, doi: 10.32679/jsda.v8i2.372.
- [15] Sundjono and Saefudin, "Pengaruh Temperatur dan pH Air Sadah Kalsium Sulfat Terhadap Korosi pada Baja Karbon," *Metalurgi*, vol. 29, no. 1, p. 41, 2018, doi: 10.14203/metalurgi.v29i1.270.
- [16] Nugraha, Iqbal Satria, Nani Mulyaningsih, and Xander Salahudin, "Penentuan Parameter Laju Korosi Lapisan Nikel-Krom pada Roda Gigi Kendaraan Bermotor." *SENASTER" Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan"*. Vol. 3. No. 1. 2022.
- [17] Nuryadi, T. D. Astuti, E. S. Utami, and M. Budiantara, *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. 2017.
- [18] G. Mardiatmoko, "Pentingnya Uji Asumsi Klasik pada Analisis Regresi Linier Berganda (Studi Kasus Penyusunan Persamaan Allometrik Kenari Muda [*Canarium Indicum* L.])," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 14, no. 3, p. 335, 2020, [Online]. Available: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/barekeng/article/view/1872>