Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 22, Nomor 1, Februari 2025
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Pengaruh Lucutan Plasma Berbasis Aliran Udara terhadap Keasaman, TDS, dan Sedimentasi dalam Pengolahan Air

Fadli Robiandi, Kezia Dian Novianti, Virgiawan Yusran Fajar Pratama
Program Studi Fisika, Institut Teknologi Kalimantan

Email korespodensi : fadlirobiandi@lecturer.itk.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v22i1.17613
Submitted: 06 Oktober 2023; *Accepted*: 12 Desember 2024

ABSTRAK- Beberapa metode pengolahan air atau water treatment telah banyak dikembangkan untuk mengatasi cemaran. Salah satu metode yang dikembangkan dalam pengolahan air adalah metode paparan plasma. Metode ini membutuhkan listrik tegangan tinggi dan tidak menggunakan zat kimia aktif. Paparan plasma pada air dan udara dapat menghasilkan spesies gas reaktif berbasis oksigen dan nitrogen atau reactive oxygen nitrogen species (RONS) dan cahaya ultraviolet. Gas reaktif seperti ozon memiliki kemampuan untuk mengoksidasi, dan berpotensi menguraikan kandungan senyawa organik dalam air. Pada metode paparan plasma pada air, RONS yang terbentuk akibat interaksi plasma dengan udara di permukaan air sulit masuk kedalam air. Untuk mengoptimalkan RONS tersebut berdifusi atau masuk ke dalam air, dibutuhkan mekanisme aliran udara ke dalam air. Pada penelitian ini, dilakukan pemaparan air dengan plasma lucutan listrik yang dilengkapi aliran udara pada elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh durasi paparan plasma terhadap perubahan endapan, keasaman (pH) dan Total Dissolve Solid (TDS) pada air. Secara umum metode yang telah dilakukan pada penelitian ini, yaitu: pembuatan sampel air (asam, basa, garam) serta penyiapan sampel air danau; proses pemaparan plasma lucutan listrik; pengukuran nilai pH, TDS dan endapan. Sampel air yang digunakan air destilasi, air danau, air garam (larutan NaCl 0,07 M), air asam (larutan CH_3 COOH 0,005 M) dan air basa (larutan KOH 0,013 M). Plasma lucutan listrik dibangkitkan menggunakan catu daya tegangan tinggi DC, dengan nilai tegangan sekitar 30 kV. Aliran udara pada elektroda dihasilkan oleh aerator berkapasitas 2,5 liter/menit. Hasil pengukuran pH pada sampel air yang telah dipapar plasma lucutan listrik menunjukkan penurunan nilai pH disemua sampel air. Laju penurunan pH tertinggi ada pada sampel air KOH dengan nilai 0.0014 pH/s. Semakin lama durasi pemaparan plasma pada sampel air garam dan air danau menyebabkan nilai TDS sampel mengalami peningkatan dengan masing-masing nilai tertinggi 5000 ppm dan 634 ppm . Hasil pengukuran endapan pada sampel air danau menunjukkan jumlah endapan yang terbentuk cenderung meningkat seiring bertambahnya durasi paparan plasma. Berdasarkan hasil penelitian ini, metode plasma lucutan listrik dapat mempermudah terbentuknya endapan pada air keruh seperti air danau, namun paparan yang lama dapat menurunkan pH (air menjadi semakin asam) dan meningkatkan nilai TDS air tersebut.

KATA KUNCI: pengolahan air, plasma, elektroda, aliran udara, gas reaktif.

ABSTRACT– Several water treatment methods have been developed to overcome contamination. One of the methods developed in water treatment is the plasma exposure method. This method requires high voltage electricity and does not use active chemicals. Plasma exposure to water and air can produce reactive oxygen and nitrogen-based gas species (RONS) and ultraviolet light. Reactive gases such as ozone have the ability to oxidize, and potentially decompose, organic compounds in water. In the method of plasma exposure to water, RONS formed due to plasma interaction with air on the surface of the water is difficult to enter the water. To optimize the RONS to diffuse or enter the water, an air flow mechanism is needed into the water. In this study, water was exposed to an electric discharge plasma equipped with airflow on the electrodes. This research aims to study the effect of plasma exposure duration on changes in sediment, acidity (pH) and Total Dissolve Solid (TDS) in water. In general, the methods that have been carried out in this study are: preparation of water

samples (acidic, alkaline, salt) and preparation of lake water samples; electrical discharge plasma exposure process; measurement of pH, TDS and sediment values. Water samples used were distilled water, lake water, salt water (0.07 M NaCl solution), acidic water (0.005 M CH_3 COOH solution) and basic water (0.013 M KOH solution). The electric discharge plasma was generated using a DC high-voltage power supply, with a voltage value of about 30 kV. The air flow on the electrodes was generated by an aerator with a capacity of 2.5 liters/minute. The results of pH measurements on water samples that have been exposed to electric discharge plasma show a decrease in pH values in all water samples. The highest rate of pH decrease was in the KOH water sample with a value of 0.0014 pH/s. The longer duration of plasma exposure to salt water and lake water samples causes the TDS value of the sample to increase with the highest value of 5000 ppm and 634 ppm, respectively. The results of sediment measurements on lake water samples show that the amount of sediment formed tends to increase as the duration of plasma exposure increases. Based on the results of this study, the electric discharge plasma method can facilitate the formation of deposits in turbid water such as lake water, but prolonged exposure can reduce pH (water becomes more acidic) and increase the TDS value of the water.

KEYWORDS: water treatment, plasma, electrode, airflow, reactive gas.

PENDAHULUAN

Metode pengolahan air telah banyak dikembangkan untuk mengatasi berbagai cemaran, seperti: metode kimia, metode elektrokimia, metode ozon, metode paparan sinar UV dan metode plasma. Pengolahan metode kimia menggunakan senyawa kimia seperti klorin (Ghernaout, 2017) untuk membunuh kuman dan senyawa koagulan untuk mengendapkan partikel pengotor (Muruganandam et al., 2017). Pengolahan air dengan metode elektrokoagulasi memanfaatkan ion yang dihasilkan dari mekanisme elektokimia untuk mengedapkan partikel polutan (Amri et al., 2020). Pengolahan air dengan metode ozon menggunakan gas O_3 yang merupakan oksidator kuat dapat membunuh kuman (Jannah et al., 2021) serta mengendapkan partikel polutan dalam air (Wei, 2022). Metode pengolahan air dengan sinar UV memanfaatkan radiasi/paparan sinar UV yang mampu membunuh bakteri, virus dan beberapa patogen berbahaya pada air (Ashok Paidalwar IshaP Khedikar, 2016).

Salah satu metode pengolahan air yang potensial untuk diterapkan adalah metode plasma. Pada bidang pengolahan air, metode plasma dapat dikategorikan sebagai *green technology* karena tidak menggunakan senyawa kima dan relatif ramah lingkungan (Van Nguyen et al., 2019). Plasma merupakan gas yang terionisasi, bersifat menghantarkan listrik dan berenergi tinggi. Plasma dibangkitkan dengan menggunakan temperatur tinggi, medan listrik kuat, Gelombang elektromagnetik pada frekuensi radio dan microwave. Plasma telah banyak dimanfaatkan pada bidang seperti: modifikasi dan fungsionalisasi permukaan (Sakti et al., 2018) (Masruroh et al., 2017), pelapisan atau coating(Xu et al., 2021), sterilsasi (Sakudo et al., 2019), peleburan logam, dan lain sebagainya. Plasma udara dapat menghasilkan radikal bebas dan molekul reaktif turunan dari oksgen dan nitrogen (RONS) seperti ozon (O_3) dan NO_x (Volkov et al., 2019). Interaksi plasma dengan air dapat menghasilkan menghasilkan spesies dan molekul reaktif atau radikal seperti OH^*, H^*, O_3 dan H_2O_2 (Liu et al., 2016) (Gharagozalian et al., 2017). Spesies dan molekul reaktif merupakan oksidator sehingga dapat menguraikan senyawa organik dan dapat secara efektif membunuh bakteri, virus dan beberapa mikroorganisme lainnya (Mitra et al., 2019). Beberapa jenis metode pembangkitan plasma untuk pengolahan air yang dikembangkan pada bebarapa penelitian, antara lain: *arc discharge plasma* (Jiang et al., 2014), g*liding arc plasma* (Gharagozalian et al., 2017), *dielectric barier plasma* (Guo et al., 2023), *radio frequency plasma* (RF plasma) (Desmiarti & Trianda, 2015) (Hazmi et al., 2022) dan *micowave* plasma (García et al., 2017).

Plasma lucutan listrik merupakan salah satu pembangkitan plasma yang dapat diterapkan untuk pengolahan air. Plasma ini dapat dibangkitkan dengan tegangan tinggi searah (DC) dan arus listrik yang relatif kecil. Plasma lucutan listrik muncul pada ujung

elektroda yang telah terhubung dengan catu daya tegangan tinggi DC. Ada beberapa konfigurasi sistem reaktor plasma untuk water treatment yang telah dikembangkan, seperti: sistem *gas discharge*, sistem *liquid discharge* dan sistem hybrid. Pada sistem *gas discharge*, lucutan plasma terbentuk di udara. Sehingga gas yang berada di atas air akan terionisasi menghasilkan gas reaktif. Gas reaktif tersebut berdifusi ke dalam air. Pada sistem liquid discharge, plasma terbentuk di dalam air dan mengionisasi molekul air dan menghasilkan zat reaktif. Zat reaktif akan mudah bedifusi, hanya saja metode ini membutuhkan daya dan tegangan listrik DC yang tinggi. Kedua sistem tersebut menggunakan elektroda positif yang diletakkan dalam air. Sedangkan sistem *hybrid* mirip dengan sistem *liquid discharge*, namun pada air terhubung dengan elektroda negatif (Zeghioud et al., 2020). Dari ketiga metode tersebut metode gas discharge menggunakan daya listrik paling rendah. Pembangkitan plasma di udara relatif membutuhkan energi listrik lebih rendah dibandingkan pembangkitan plasma di dalam air.

Pada sistem *gas discharge*, gas reaktif atau RONS akan terbentuk sebagai hasil interaksi plasma dengan udara, namun RONS sulit masuk secara langsung atau berdifusi ke dalam air. Salah satu solusi terkait permasalahan tersebut adalah dengan menambahkan aliran udara disekitar elektroda untuk membawa RONS masuk ke dalam air. Dengan mekanisme ini, plasma lucutan udara dapat berinteraksi langsung dengan permukaan air, sembari memasukkan aliran udara yang mengandung RONS ke dalam air. Dengan demikian efek paparan plasma pada pengolahan air bisa lebih efektif. Kualitas air yang diolah dengan mekanisme ini dapat dilihat dari beberapa parameter diantaranya adalah pH, *total dissolve solid* (TDS) dan endapan yang terbentuk.

Pada penelitian ini telah dilakukan pemaparan air dengan plasma lucutan listrik yang dilengkapi aliran udara pada elektroda. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh durasi paparan plasma lucutan listrik terhadap nilai pH, TDS dan endapan pengotor pada sampel air.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Asam asetat atau CH_3COOH, NaCl, KOH, air distilasi, air danau di wilayah kampus ITK. Bahan-bahan seperti CH_3COOH, NaCl dan KOH masing-masing digunakan untuk membuat larutan CH_3COOH 0,005 M, larutan NaCl 0,07 M dan Larutan KOH 0,013 M. larutan CH_3COOH, larutan NaCl, Larutan KOH, air distilasi dan air danau digunakan sebagai sampel dalam proses pemaparan plasma lucutan listrik.

Pada penelitian ini digunakan reaktor plasma yang terdiri dari sebuah gelas beaker ukuran 150 ml yang dilengkapi statif untuk menstabilkan posisi pipa udara yang berisi elektroda. elektroda berbentuk pin berbahan baja stainless stell berdiameter 1 mm sebagai tempat munculnya lucutan listrik. Elektroda berjumlah 2 buah dan ditempatkan dalam pipa udara. Pipa udara yang terbuat dari pipa kaca berbahan borosilikat berjumlah 2 pipa. Diameter dalam pada kedua pipa kaca adalah 4 mm. Pompa aerator dengan kapasitas luaran 2,5 liter/menit berfungsi mengalirkan udara ke dalam sampel air. Selang berbahan silikon sebagai saluran penghubung antara pompa dengan pipa udara. kabel listrik untuk menghubungkan catu daya tegangan tinggi dengan elektroda pada reaktor plasma. Volume sampel air yang digunakan pada proses pemaparan plasma lucutan listrik ini adalah 100 ml.

Pemaparan Plasma pada Sampel

Plasma lucutan listrik pada reaktor dibangkitkan dengan catu daya tegangan tinggi arus searah atau DC. Besar tegangan yang digunakan dalam pembangkitan plasma lucutan listrik sebesar 30kV DC. Daya listrik yang digunakan dalam membangkitkan plasma adalah 35,5 ± 2 watt. Susunan komponen dan alat pengujian ditunjukkan oleh Gambar 1. Jarak antara ujung elektroda dengan permukaan air adalah 1,5 cm..

Pada proses pemaparan plasma lucutan listrik pada air dalam peneritian ini, jarak elektroda positif dan negatif terhadap air adalah 1,5 cm. jarak tersebut merupakan jarak

maksimum lucutan listrik dapat menyentuh permukaan air. Volume sampel air yang digunakan dalam pemaparan lucutan plasma adalah 100 ml. hal ini dilakukan agar tidak terjadi luapan air sampel yang diakibatkan aliran udara yang dipompa ke dalam air selama proses pemaparan lucutan plasma.

Pengukuran Nilai pH dan TDS

Pengukuran nilai pH pada sampel menggunakan kertas lakmus. Semua jenis sampel dilakukan pengukuran pH sebelum dan setelah proses pemaparan plasma lucutan listrik. Pada pengukuran TDS, sampel dikondisikan dalam keadaan awal yang sama seperti nilai pH, volume sampel dan temperatur awal. Sehingga pengukuran TDS hanya dilakukan pada sampel air danau dan larutan NaCl. Karena pH sampel air danau dan larutan NaCl memiliki nilai yang sama. Pengukuran TDS dan konduktivitas sampel air menggunakan alat conductivity meter Lutron YK 22CT.

Pengukuran Endapan

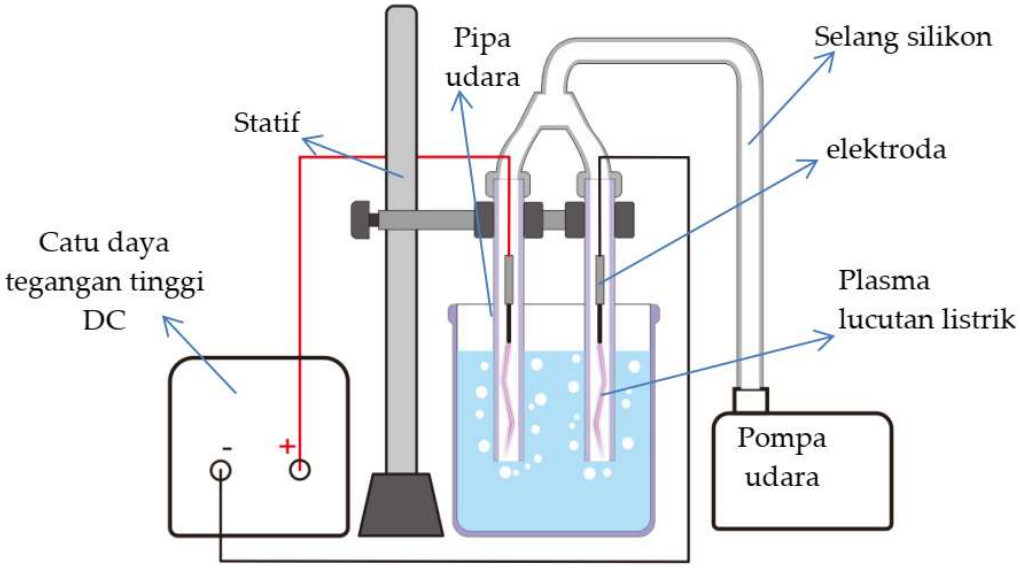
Pengukuran endapan hanya dilakukan pada sampel air danau. Hal ini disebabkan air danau di wilayah kampus Institut Teknologi Kalimantan (ITK) memiliki penampakan keruh sehingga dianggap memiliki zat atau partikel pengotor organik dan anorganik. Sedangkan sampel air yang lain seperti larutan garam, air distilasi, larutan CH_3COOH dan larutan KOH dibuat dilaboratorium dan dikontrol dijaga agar tidak ada pengotor didalamnya.

Pengukuran endapan dilakukan dengan mengukur besar luasan endapan pada dasar gelas sampel. besar luasan tersebut di dihitung dari foto endapan pada sampel air danau pada dasar gelas. Proses pengambilan gambar atau proses foto untuk setiap sampel, dilakukan pada posisi yang sama dan pencahayaan diatur agar sama disetiap proses pengambilan. Foto endapan hasil pengujian diolah atau diproses dengan menggunakan *software* Matlab. Dalam metode image processing menggunakan matlab, citra pada foto endapan dikonversi menjadi *grayscale*. Foto hasil konversi dilakukan *traceholding* menggunakan fitur *apps Image Segmenter* pada Matlab. Hasil *thresholding* kemudian diolah menggunakan fitur *apps Image Region Analyzer* pada Matlab untuk mendapatkan luas area endapan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Paparan Plasma Lucutan Listrik Terhadap pH

Paparan plasma lucutan listrik pada air dapat menurunkan nilai pH. Semakin lama proses paparan plasma menyebabkan pH sampel larutarn KOH, air danau dan air distilasi semakin turun. Penurunan pH sampel terhadap lama paparan ditunjukkan oleh Gambar 2. Dari Gambar 2, semua jenis sampel air mengalami penurunan nilai pH. Penurunan nilai pH dapat



Gambar 1 Susunan alat pada reaktor plasma lucutan listrik

diakibatkan oleh ion H^+ yang muncul akibat reaksi gas nitrogen dioksida (NO_2) reaktif yang bereaksi dengan air sampel yang membentuk ion nitrat (NO_3^-) dan ion H^+ yang dihasilkan selama proses pemaparan. Ketika lucutan plasma mengionisasi udara di sekitar elektroda, gas oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2) dapat bereaksi dan membentuk NO_2. Reaksi pembentukan gas NO_2 adalah sebagai berikut:

$$O_2 + N_2 \rightarrow NO$$
$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Menurut artikel ilmiah yang ditulis Murillo tahun 2023, Nitrogen dioksida ini dapat bereaksi dengan spesies reaktif lain untuk membentuk RON yang lebih kompleks, seperti peroksinitrit ($ONOO^-$) (Murillo et al., 2023). Gas reaktif NO_2 dibawa oleh aliran udara ke dalam sampel air, sehingga gas tersebut dapat bereaksi dengan air untuk membentuk ion H^+ dan ion nitrat (NO_3^-). Reaksi NO_2 dengan air dalam membentuk larutan bersifat asam adalah

$$NO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + e^-$$

NO_2 dengan air dapat membentuk senyawa senyawa HNO_3 dan HNO_2 yang merupakan cairan bersifat asam. Reaksi NO_2 reaktif dan H_2O adalah sebagai berikut (Zabidi et al., 2021):

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$$

Faktor lain penyebab turunnya nilai pH pada sampel adalah terbentuknya senyawa asam peroksida atau H_2O_2. Saat lucutan plasma menyentuh sampel air. H_2O_2 dapat terbentuk dari reaksi gas O_2 reaktif yang bereaksi dengan molekul air membentuk radikal hidroksil (OH). Radikal hidroksil ini dapat bereaksi dengan spesies reaktif lain untuk membentuk zat yang lebih kompleks seperti superoksida (O_2^-) dan hidrogen peroksida. Radikal hidroksil (OH) dapat bereaksi dengan oksida nitrat (NO) untuk membentuk peroksinitrit ($ONOO^-$) (Bauer, 2019). Pembentukan radikal OH ditunjukaan oleh reaksi kimia berikut:

$$H_2O + e^- \rightarrow H + OH + e^-$$

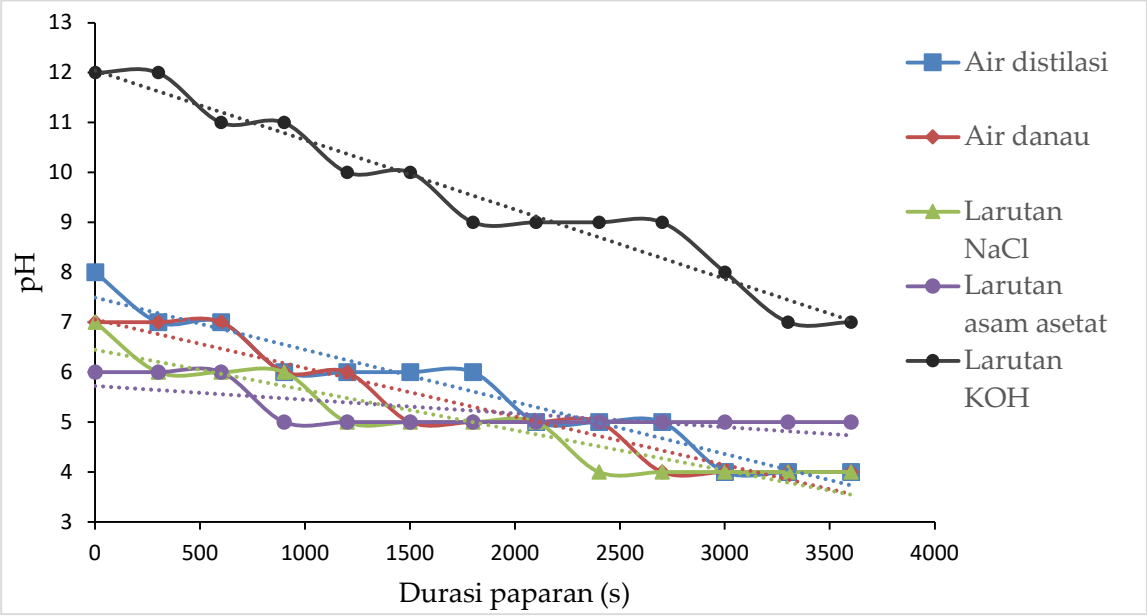
Laju perubahan pH dapat dihitung dari hubungan pH dan durasi dari data yang ditunjukkan oleh Gambar 2, dengan menggunakan model regresi linier yang ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$y = b + ax \quad (1)$$

y adalah derajat keasaman atau pH, x adalah durasi paparan plasma, a adalah gradien atau laju penurunan pH, dan b adalah nilai pH awal pada sampel air. Nilai a dapat dihitung menggunakan Persamaan 2. Persamaan 2 didapatkan dari hasil penurunan Persamaan 1 dengan menggunakan metode least square.

$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} y_i)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \quad (2)$$

Berdasarkan hasil perhitungan laju penurunan nilai pH dengan menggunakan



Gambar 2 Grafik pH dari sampel air yang dipapar dengan plasma lucutan listrik

Persamaan 2, diketahui bahwa laju penurunan nilai pH terbesar adalah pada sampel air basa yaitu larutan KOH. Laju penurunan nilai pH semua sampel air ditunjukkan oleh Tabel 1.

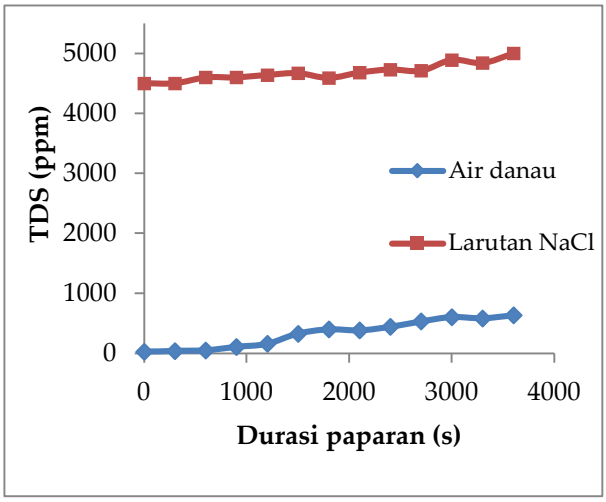
Tabel 1 Laju penurunan nilai pH

Jenis sampel	Laju penurunan pH (pH/s)
Air distilasi	0,001
Air danau	0,001
Larutan NaCl	0,0008
Larutan CH3COOH	0,0003
Larutan KOH	0,0014

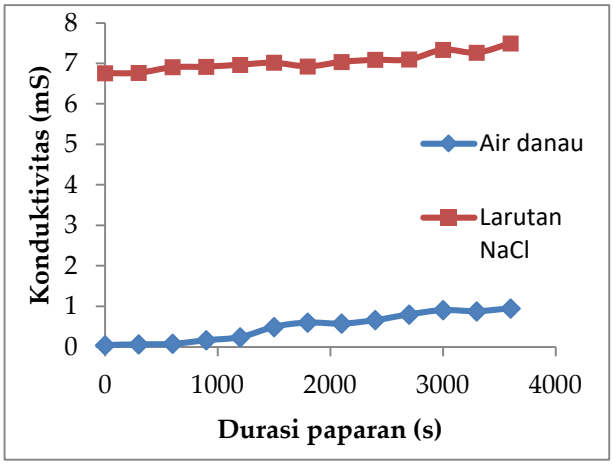
Berdasarkan grafik pada Gambar 2, larutan CH_3COOH mengalami penurunan dari nilai pH 6 menjadi 5. Nilai pH pada sampel tersebut tidak mengalami perubahan lagi setelah dipapar lebih dari 900 hingga 3600 detik. sedangkan pada sampel larutan NaCl nilai pH terendah adalah 4. Nilai pH tersebut tidak mengalami perubahan walau durasi paparan ditambah hingga 2500 detik. Keadaan ini dapat disebabkan oleh ion pada molekul H_20 yang jenuh dalam bereaksi atau berikatan dengan RONS dan molekul reaktif seperti 0_3.

Pengaruh Paparan Plasma Lucutan Listrik Terhadap TDS

Berdasarkan pengukuran TDS pada sampel air danau dan larutan NaCl, nilai TDS semakin meningkat seiring bertambahnya durasi paparan plasma lucutan listrik. Nilai TDS larutan garam lebih tinggi dibandingkan air danau. Peningkatan nilai TDS ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Grafik hubungan nilai TDS dengan durasi paparan



Gambar 4 Grafik hubungan nilai konduktivitas pada air danau dan larutan NaCl dengan durasi paparan

Nilai TDS dipengaruhi oleh jumlah zat yang terlarut dalam air seperti garam, mineral atau logam. Keberadaan zat tersebut akan mempengaruhi konduktivitas air. konduktivitas air juga dipengaruhi banyaknya ion yang terlart dalam air. Plasma lucutan listrik dapat menghasilkan spesies gas reaktif oksigen dan nitrogen (RONS) yang bermuatan atau ion seperti radikal oksigen dan radikal NO_2, dan nitrogen tereksitasi (Volkov et al., 2019). Gas reaktif ini terbawa aliran udara ke dalam air dan sebagian gas bereaksi dengan air seperti reaksi gas NO_2 dengan H_20 membentuk senyawa HNO_3. Keberadaan gas reaktif dan senyawa asam ini menyebabkan meningkatnya jumlah ion. Peningkatan jumlah ion dapat meningkatkan konduktivitas air danau dan larutan NaCl. Interaksi plasma lucutan listrik dengan air dapat menghasilkan senyawa reaktif seperti H_20_2 dan 0_3 (Zeghioud et al., 2020). Keberadaan zat ini mampu meningkatkan konduktivitas sampel air. Nilai konduktivitas sampel semakin meningkat seiring bertambanya waktu, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.

Peningkatan nilai TDS dan konduktivitas pada sampel air danau dan larutan NaCl dari data grafik yang ditunjukkan Gambar 3 dan 4, dapat dihitung dengan menggunakan model regresi linier. Dengan menerapkan metode *least square*, laju peningkatan TDS dan Konduktivitas dapat ditentukan dengan Persamaan 2. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa laju peningkatan nilai TDS dan konduktivitas air

danau lebih tinggi dari larutan NaCl. Besar Laju peningkatan TDS dan konduktivitas sampel air danau dan larutan NaCl ditunjukkan oleh Tabel 2.

Pengaruh Paparan Plasma Lucutan Listrik Terhadap Endapan

Endapan yang terbentuk pada sampel air danau setelah dipapar plasma semakin banyak seiring bertambanhnya durasi paparan, hal ini ditunjukkan oleh Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan luasan endapan yang terbentuk di dasar gelas sampel. luasan endapan pada dasar gelas sampel proporsional dengan jumlah atau massa endapan terbentuk. Sehingga semaikin besar luasan endapan pada dasar gelas maka semakin besar pula massa endapan yang terbentuk.

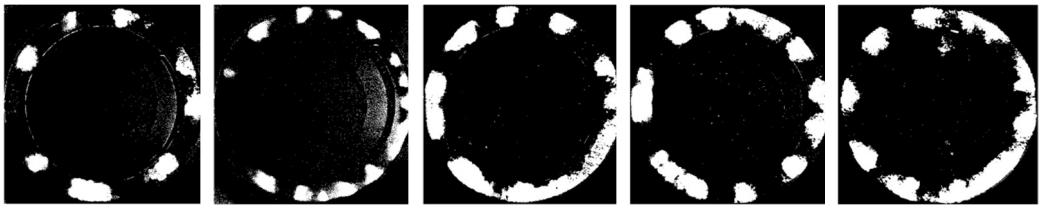
Endapan pada dasar gelas sampel merupakan hasil proses koagulasi dan flokulasi partikel pengotor atau kontaminan pada sampel air danau setelah dipapar plasma lucutan listrik. Endapan dapat disebabkan gas ozon (O_3) yang dihasilkan selama paparan plasma dapat berinteraksi dengan partikel tersuspensi pada sampel air danau dan menyebabkan partikel tersebut tidak stabil. Hal ini dapat menyebabkan penggumpalan atau aglomerasi pada partikel-partikel pengotor dalam sampel air (Cui et al., 2020). Semakin lama durasi paparan maka jumlah kandungan O_3 semakin banyak sehingga endapan yang terbentuk semakin banyak.

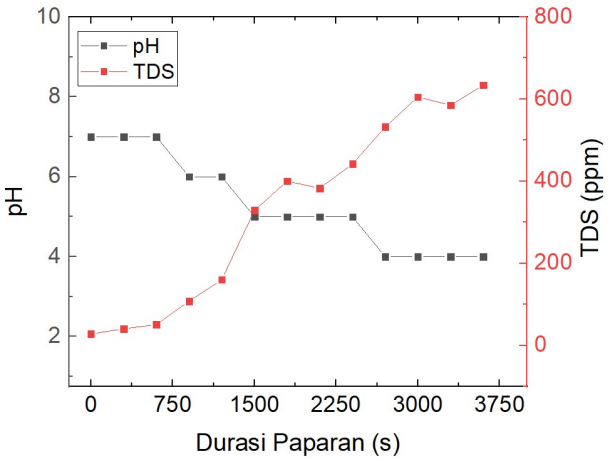
Paparan lucutan plasma telah membangkitkan zat reaktif seperti NO_2 yang menghasilkan ion NO_3^- serta H^+dalam air, hidroksil radikal, O_3 dan zat reaktif lainnya. Hubungan durasi pemaparan lucutan plasma dengan endapan, derajat keasaman dan TDS pada sampel air danau dijelaskan sebagai berikut gas O_3 berinteraksi dengan partikel yang tersuspensi dalam air danau sehingga membentuk endapan. Semakin lama durasi paparan lucutan plasma pada sampel air danau mengakibatkan semakin banyak endapan yang terbentuk. Durasi paparan yang semakin lama juga berakibat pada derajat keasaman atau pH air danau yang menjadi semakin rendah. berdasarkan hasil pengukuran nilai pH air danau berubah dari 7 menjadi 4 dengan durasi paparan lucutan plasma 3600 detik. Penurunan pH diakibatkan oleh meningkatnya jumlah ion H^+ dalam sampel air danau. Durasi paparan yang semakin lama juga menyebabkan jumlah ion H^+ dan zat reaktif semakin banyak. Peningkatan jumlah ion dan zat reaktif ini mengakibatkan nilai TDS air danau juga semakin meningkat. Hubungan Durasi paparan lucutan plasma dengan TDS dan pH ditunjukkan oleh Gambar 5.

Tabel 2 Laju peningkatan TDS dan konduktivitas

Sampel	Laju peningkaan TDS (ppm/s)	Laju peningkatan konduktivitas (mS/s)
Air Danau	0,19	0,3 x 10-3
Larutan NaCl	0,12	0,2 x 10-3

Tabel 3 Endapan pada sampel air danau setelah dipapar dengan plasma lucutan listrik

Durasi paparan	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit	60 menit
Sebelum pengolahan citra					
Setelah pengolahan citra					



Gambar 5 Grafik hubungan durasi paparan plasma terhadap pH dan TDS pada air danau.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa paparan plasma lucutan listrik yang dipadukan dengan aliran udara pada elektroda dapat menurunkan pH air. nilai pH sampel air distilasi, air danau dan larutan KOH semakin turun seiring bertambahnya durasi paparan plasma. sedangkan pada sampel CH_3COOH penururan nilai pH berhenti pada nilai 5 dan penurunan pH sampel larutan NaCl berhenti pada nilai 4. Laju penurunan pH tertinggi terjadi pada larutan KOH dengan nilai 0.0014 pH/s. Aliran udara dapat mempermudah gas reaktif yang terbentuk akibat interaksi udara di sekitar elektroda dengan lucutan plasma, untuk masuk ke dalam air. Semakin lama durasi paparan plasma pada air danau dan air garam atau larutan NaCl maka nilai TDS semakin meningkat. Jumlah endapan yang terbentuk pada air danau setelah dipapar plasma proporsional atau berbanding positif dengan lama durasi paparan.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, I., Pratiwi Destinefa, & Zultiniar. (2020). Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu. *CHEMPUBLISH JOURNAL*, *5*(1), 57–67. https://doi.org/10.22437/chp.v5i1.7651

Ashok Paidalwar IshaP Khedikar, A. M. (2016). Overview of Water Disinfection by UV Technology-A Review. *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering* |, *2*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30976.25608

Bauer, G. (2019). The synergistic effect between hydrogen peroxide and nitrite, two long-lived molecular species from cold atmospheric plasma, triggers tumor cells to induce their own cell death. *Redox Biology*, *26*, 101291. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101291

Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., & Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, *10*(34), 20231–20244. https://doi.org/10.1039/d0ra02979c

Desmiarti, R., & Trianda, Y. (2015). Removal of Pathogenic Bacteria from Water by Radio-Frequency Thermal Plasma Treatment Inovasi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Metode Dielectric Barrier Discharge dan Elektrolisis sebagai Alternatif Teknologi Ramah Lingkungan View project Johkasou Performance View project. In *Article in Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/280553944

García, M. C., Mora, M., Esquivel, D., Foster, J. E., Rodero, A., Jiménez-Sanchidrián, C., & Romero-Salguero, F. J. (2017). Microwave atmospheric pressure plasma jets for wastewater treatment: Degradation of methylene blue as a model dye. *Chemosphere*, *180*, 239–246. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.126

Gharagozalian, M., Dorranian, D., & Ghoranneviss, M. (2017). Water treatment by the AC gliding arc air plasma. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, *11*(3), 171–180. https://doi.org/10.1007/s40094-017-0254-z

Ghernaout, D. (2017). Water Treatment Chlorination: An Updated Mechanistic Insight Review CODEN(USA): CRJHA5 Water treatment chlorination: An

updated mechanistic insight review. *Chemistry Research Journal*, *2*(4), 125–138.

Guo, H., Su, Y., Yang, X., Wang, Y., Li, Z., Wu, Y., & Ren, J. (2023). Dielectric Barrier Discharge Plasma Coupled with Catalysis for Organic Wastewater Treatment: A Review. In *Catalysts* (Vol. 13, Issue 1). MDPI. https://doi.org/10.3390/catal13010010

Hazmi, A., Rosadi, M. Y., Desmiarti, R., & Li, F. (2022). Effect of Radio-Frequency Treatment on the Changes of Dissolved Organic Matter in Rainwater. *Water (Switzerland)*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/w14010111

Jannah, F. Z. J. Z., Zuhri, M. S., & Mulyadi, E. (2021). OPTIMASI KADAR OZON DALAM PROSES DISINFEKSI BAKTERI COLIFORM PADA PENGOLAHAN AIR MINUM. *Jurnal Teknik Kimia*, *15*(2). https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i2.2567

Jiang, B., Zheng, J., Qiu, S., Wu, M., Zhang, Q., Yan, Z., & Xue, Q. (2014). Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 236, pp. 348–368). https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.090

Liu, J., He, B., Chen, Q., Li, J., Xiong, Q., Yue, G., Zhang, X., Yang, S., Liu, H., & Liu, Q. H. (2016). Direct synthesis of hydrogen peroxide from plasma-water interactions. *Scientific Reports*, *6*. https://doi.org/10.1038/srep38454

Masruroh, Hanif, M. A., Sakti, S. P., & Santjojo, D. J. D. H. (2017). Plasma power effect on the surfaces of a quartz crystal during etching using tetrafluoroethane gas. *International Journal of Technology*, *8*(8), 1525–1532. https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i8.721

Mitra, S., Nguyen, L. N., Akter, M., Park, G., Choi, E. H., & Kaushik, N. K. (2019). Impact of ROS generated by chemical, physical, and plasma techniques on cancer attenuation. In *Cancers* (Vol. 11, Issue 7). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/cancers11071030

Amri, I., Pratiwi Destinefa, & Zultiniar. (2020). Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu. *CHEMPUBLISH JOURNAL*, *5*(1), 57–67. https://doi.org/10.22437/chp.v5i1.7651

Ashok Paidalwar IshaP Khedikar, A. M. (2016). Overview of Water Disinfection by UV Technology-A Review. *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering |*, *2*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30976.25608

Bauer, G. (2019). The synergistic effect between hydrogen peroxide and nitrite, two long-lived molecular species from cold atmospheric plasma, triggers tumor cells to induce their own cell death. *Redox Biology*, *26*, 101291. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101291

Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., & Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, *10*(34), 20231–20244. https://doi.org/10.1039/d0ra02979c

Desmiarti, R., & Trianda, Y. (2015). Removal of Pathogenic Bacteria from Water by Radio-Frequency Thermal Plasma Treatment Inovasi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Metode Dielectric Barrier Discharge dan Elektrolisis sebagai Alternatif Teknologi Ramah Lingkungan View project Johkasou Performance View project. In *Article in Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/280553944

García, M. C., Mora, M., Esquivel, D., Foster, J. E., Rodero, A., Jiménez-Sanchidrián, C., & Romero-Salguero, F. J. (2017). Microwave atmospheric pressure plasma jets for wastewater treatment: Degradation of methylene blue as a model dye. *Chemosphere*, *180*, 239–246. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.126

Gharagozalian, M., Dorranian, D., &

Ghoranneviss, M. (2017). Water treatment by the AC gliding arc air plasma. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, *11*(3), 171–180. https://doi.org/10.1007/s40094-017-0254-z

Ghernaout, D. (2017). Water Treatment Chlorination: An Updated Mechanistic Insight Review CODEN(USA): CRJHA5 Water treatment chlorination: An updated mechanistic insight review. *Chemistry Research Journal*, *2*(4), 125–138.

Guo, H., Su, Y., Yang, X., Wang, Y., Li, Z., Wu, Y., & Ren, J. (2023). Dielectric Barrier Discharge Plasma Coupled with Catalysis for Organic Wastewater Treatment: A Review. In *Catalysts* (Vol. 13, Issue 1). MDPI. https://doi.org/10.3390/catal13010010

Hazmi, A., Rosadi, M. Y., Desmiarti, R., & Li, F. (2022). Effect of Radio-Frequency Treatment on the Changes of Dissolved Organic Matter in Rainwater. *Water (Switzerland)*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/w14010111

Jannah, F. Z. J. Z., Zuhri, M. S., & Mulyadi, E. (2021). OPTIMASI KADAR OZON DALAM PROSES DISINFEKSI BAKTERI COLIFORM PADA PENGOLAHAN AIR MINUM. *Jurnal Teknik Kimia*, *15*(2). https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i2.2567

Jiang, B., Zheng, J., Qiu, S., Wu, M., Zhang, Q., Yan, Z., & Xue, Q. (2014). Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 236, pp. 348–368). https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.090

Liu, J., He, B., Chen, Q., Li, J., Xiong, Q., Yue, G., Zhang, X., Yang, S., Liu, H., & Liu, Q. H. (2016). Direct synthesis of hydrogen peroxide from plasma-water interactions. *Scientific Reports*, *6*. https://doi.org/10.1038/srep38454

Masruroh, Hanif, M. A., Sakti, S. P., & Santjojo, D. J. D. H. (2017). Plasma power effect on the surfaces of a quartz crystal during etching using tetrafluoroethane gas. *International Journal of Technology*, *8*(8), 1525–1532. https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i8.721

Mitra, S., Nguyen, L. N., Akter, M., Park, G., Choi, E. H., & Kaushik, N. K. (2019). Impact of ROS generated by chemical, physical, and plasma techniques on cancer attenuation. In *Cancers* (Vol. 11, Issue 7). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/cancers11071030

Murillo, D., Huergo, C., Gallego, B., Rodríguez, R., & Tornín, J. (2023). Exploring the Use of Cold Atmospheric Plasma to Overcome Drug Resistance in Cancer. *Biomedicines*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/biomedicines11010208

Muruganandam, L., Kumar, M. P. S., Jena, A., Gulla, S., & Godhwani, B. (2017). Treatment of waste water by coagulation and flocculation using biomaterials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *263*(3). https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032006

Sakti, S., Khusnah, N., Santjojo, D., & Sabarudin, A. (2018). Surface Modification of Polystyrene Coating on QCM Sensor using Ambient Air Plasma at Low Pressure. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 5). www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings2214-7853

Sakudo, A., Yagyu, Y., & Onodera, T. (2019). Disinfection and sterilization using plasma technology: Fundamentals and future perspectives for biological applications. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 20). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/ijms20205216

Van Nguyen, D., Ho, P. Q., Van Pham, T., Van Nguyen, T., & Kim, L. (2019). Treatment of surface water using cold plasma for domestic water supply. *Environmental Engineering Research*, *24*(3), 412–417. https://doi.org/10.4491/EER.2018.215

Volkov, A. G., Xu, K. G., & Kolobov, V. I. (2019). Plasma-generated reactive oxygen and nitrogen species can lead to closure, locking and constriction of the Dionaea

muscipula Ellis trap. *Journal of the Royal Society Interface*, *16*(150). https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0713

Wei, L. (2022). A new water treatment technology - Hybrid ozonation-coagulation process: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1035*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1035/1/012014

Xu, J., Nagasawa, H., Kanezashi, M., & Tsuru, T. (2021). TiO2Coatings Via Atmospheric-Pressure Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition for Enhancing the UV-Resistant Properties of Transparent Plastics. *ACS Omega*, *6*(2), 1370–1377. https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04999

Zabidi, N. Z. A., Zaaba, S. K., Sut, K. D. E., Mohamad, C. W. S. R., & Masiman, R. I. (2021). A Brief Review on Atmospheric Air Plasma. *Journal of Physics: Conference Series*, *2071*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2071/1/012004

Zeghioud, H., Nguyen-Tri, P., Khezami, L., Amrane, A., & Assadi, A. A. (2020). Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species and combined processes. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 38). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101664