PEMBUATAN DAN PENGUJIAN ALAT PEMBANGKIT LUCUTAN PLASMA UNTUK PENINGKATAN BAKU MUTU AIR LIMBAH TEKSTIL

Tiara Sepfitri Indarwati, Sri Wuryanti, Sapto Prayogo.

[1]*Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*

E-mail : tiara.sepfitri.tken19@polban.ac.id; sri.wuryanti@polban.ac.id; sapto.prayogo@polban.ac.id

ABSTRAK

Industri Tekstil merupakan salah satu industri unggulan dan merupakan industri yang akan terus berkembang karena besarnya pasar yang ditawarkan di Indonesia khususnya Bandung. Namun, industri ini menghasilkan air limbah seringkali tidak diolah dengan benar dan dapat berbahaya bagi lingkungan. Konsentrasi BOD dalam jumlah air limbah tekstil objek uji hampir dua kali lipat dari persyaratan kadar BOD maksimum yang diizinkan yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019. Plasma Treatment menawarkan prosedur yang cukup efektif untuk meningkatkan kualitas air limbah dan telah berkembang selama beberapa dekade belakangan. Plasma non-termal yang dihasilkan oleh tegangan tinggi melalui elektroda memberikan reaksi elektron terhadap oksigen yang dapat digunakan untuk menghasilkan spesies aktif yang akan mengoksidasi bahan organik. Percobaan menghasilkan plasma non-termal dengan tegangan tinggi dan elektroda memberikan penurunan angka BOD hingga 83%, penurunan pH menjadi 4,72%, peningkatan TDS menjadi 6,57%, serta penurunan penampakan warna. Hal ini dapat dimungkinkan karena spesies aktif yang dihasilkan oleh plasma fasa gas.

Kata kunci: *plasma, tegangan tinggi, air limbah, BOD.*

I. PENDAHULUAN

Industri Tekstil merupakan industri terbesar di kota Bandung sesuai dengan data dari Dinas Perdagangan dan Perindustrian Kota Bandung yang dikeluarkan pada tahun 2018. Tidak sedikit buangan atau bekas dari industri tekstil yang sudah tidak dapat didaur ulang kembali sehingga dibuang ke kolam penampungan yang kemudian dibuang ke sungai. Air limbah tekstil memiliki kandungan yang dapat mencemari lingkungan seperti bahan-bahan kimia dalam kegiatan produksi.

Zat-zat kimia yang terkandung dalam air limbah tekstil dapat menyebabkan penurunan mutu limbah. Pengaruh air limbah tekstil terhadap sungai dapat berupa kualitas air sungai yang turun dan warna dari air limbah tekstil yang memperkeruh air sungai. Telah terdapat berbagai alternatif untuk pengolahan limbah cair dan salah satu metode yang perkembangannya cukup pekat dalam beberapa decade belakangan adalah penggunaan Teknologi Plasma untuk mengurai limbah. Teknologi plasma sendiri dapat digunakan pada penguraian limbah padat maupun limbah cair.

Meskipun menjadi alternatif yang cukup diandalkan karena ke-efektivannya, teknlogi plasma tergolong masih jarang dijumpai pengaplikasiannya secara langsung terhadap penguraian limbah.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Air Limbah

Pengujian sifat kimia biasanya dapat ditelaah dengan melakukan analisis jumlah dan satuan, analisis sifat biologi menggunakan penggolongan. Menurut (Suyasa, 2015), air limbah memiliki tiga sifat yaitu, sifat fisik, sifat kimiawi yang diteliti dengan analisis jumlah dan satuan, dan sifat biologis yang dianalisis dengan penggolongan.

2.2 Karakteristik Air Limbah

Dikutip dari (Suyasa, 2015), air limbah memiliki karakteristik sebagai berikut:

Karakter Fisik. Karakter fisik air limbah bergantung oleh polutan dalam air limbah baik berupa bahan tersuspensi maupun terlarut yang mempengaruhi suhu, serta kekeruhan warna dan bau dari air limbah.

Karakter Kimia. Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh polutan berbahan kimia yang terlarut dalam bentuk ion-ion maupun tersuspensi berbentuk senyawa.

2.3 Baku Mutu Air Limbah

Untuk limbah tekstil sendiri, parameter-parameter baku mutu air limbah tekstil sudah ditentukan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tekstil Periode Peralihan

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD_5	60	6
COD	150	15
TTS	50	5
Fenol Total	0,5	0,05
Krom Total (Cr)	1,0	0,1
Amonia Total (NH_3-N)	8,0	0,8
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
Minyak dan Lemak	3,0	0,3
pH	6,0 – 9,0	
Debit Limbah Paling Tinggi	100 m^3/ton produk tekstil	

1. BOD.BOD merupakan salah satu parameter utama dalampenentuan kualitas air. Pada air limbah tekstil, sesuai dengan P.16/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019, BOD memiliki kadar paling tinggi sebanyak 60 mg/L
2. pH. Nilai pH ditentukan dengan seberapa banyak konsentrasi ion hidrogen dalam air, konsentrasi ion hidrogen dalam air yang semakin rendah, maka nilai pH dan perairan semakin toksik. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan , dan menyukai kondisi yang pH nya berkisar antara 7,0 -8,5.(Suyasa, 2015)
3. TDS. TDS (Total Dissolved Solid) merupakan parameter dimana menunjukkan banyaknya padatan yang terurai dan terlarut di dalam air, TDS adalah benda padat yang terlarut yaitu semua mineral, garam, logam, serta kationanion yang terlarut di air. Termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H2O).(Sudarto et al., n.d.)

2.4 Plasma

Chen (Dalam Nur, 2011:17) menjelaskan bahwa plasma adalah daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat substansial untuk terjadi. Plasma dapat terjadi saat temperatur atau energi suatu gas dinaikkan hingga memungkinkan untuk atom-atom gas terionisasi, membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti.

Lucutan listrik pada cairan meluncurkan berbagai dampak kimiawi dan fisik yang mengakibatkan deaktifasi mikroorganisme:

i. fenomena kompresi elektromekanik mengakibatkan penonaktifan sel-sel bakteri dengan cara memulai sel membran.

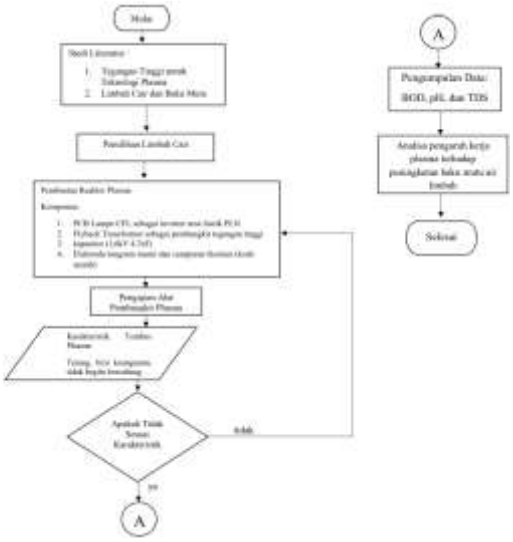
ii. Mutasi organisme mungkin terjadi karena intensitas radiasi UV antara 200 dan 400 nm.

Pada plasma non-termal, dikarenakan tidak terjadi kesetimbangan termal (thermal equilibrium), memberikan selektifitas tinggi dan efisiensi energi yang tinggi pada reaksi kimia plasma.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan kualitatif dengan melakukan percobaan pada laboratorium. Dimulai penentuan limbah cair yang akan diujicobakan. Lebih lanjut dengan pembuatan reactor plasma skala laboratoium, kemudian melakukan pengujian kemampuan pembentukan plasma. Secara flow diagram dapat digambarkan pada Gambar 1 berikut.



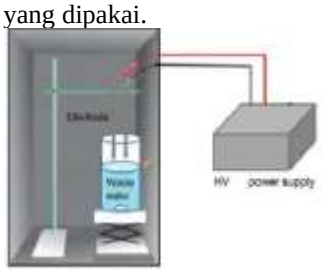
Gambar 1. Skema Diagram Alir Penelitian
(Sumber: Dokumen Pribadi)

3.2 Konstruksi Alat

Alat reaktor plasma non-termal dirancang dengan pembangkit tegangan tinggi yang dirangkai sehingga menjadi pembangkit plasma untuk *treatment*. Pembangkit Plasma untuk kepentingan percobaan penjernihan air limbah terdiri dari:

1. Sumber Tegangan. Pembangkitan plasma non-termal menggunakan tegangan tinggi yang akan diperoleh dari pembangkit tegangan tinggi. Alat pembangkit plasma non-termal sederhana terdiri dari sirkuit ballast CFL 220 V berdaya 85 W, Kapasitor 1,6 kV 4,7nF, dan *Flyback TV* dengan tegangan yang dihasilkan dapat mencapai 25 kV.
2. Reaktor Plasma. Tegangan tinggi yang dihasilkan kemudian akan dialirkan menuju elektroda Reaktor plasma terdiri dari elektroda dengan diameter $2{,}4\ mm$ dan $1{,}6\ mm$ yang dihubungkan dengan elektroda dengan untuk menjadi media penghasil lucutan pijar plasma.

Pada percobaan ini, skema reaktor pembangkitan plasma mengacu pada jurnal “Atmospheric Air Plasma Corona Discharge for Dye Degradation of Indonesian Batik Wastewater” oleh K Kusumandari , T E Saraswati, S W Wulandari, dan A Qusnudin. Hal yang membedakan pada penelitian adalah alat pembangkit tegangan tinggi yang mana pada percobaan ini dirakit sendiri, objek uji, serta elektroda yang dipakai.



Gambar 2. Skema Pembangkitan Plasma
(Sumber : (Kusumandari et al., 2022)

3.3 Pembuatan dan Pengujian Alat

3.3.1 Preparasi PCB CFL-85 W

Preparasi lampu CFL-85 W dilakukan dengan menentukan input dan output dari PCB lampu CFL 85 W. Untuk input atau masukannya yaitu, listrik PLN 220 V biasanya terdapat pada dua kabel pada sirkuit yang berpasangan, kemudian disambungkan dengan kabel power yang akan dihubungkan dengan terminal. Output atau keluaran dari sirkuit yang pada pada lampu akan berhubungan ke bohlam lampu. Dari sirkuit CFL ada empat keluaran (P1, P2, P3, dan P4), ditentukan dua output utama yang kemudian kedua output ini yang akan dijadikan input kepada dua kaki primer flyback.

3.3.2 Preparasi Flyback

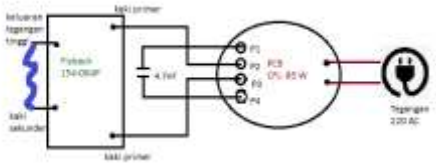
Preparasi flyback dilakukan dengan pengecekan kakiflyback, Flyback memiliki 10 kaki dimana kaki yang akan digunakan hanyalah kaki primer dan kaki sekundernya. Kaki primer berjumlah dua dimana akan dihubungkan dengan keluaran sirkuit CFL sebagai masukan flyback. Mengidentifikasi kaki primer plyback adalah dengan mengetes resistansi tiap pasang kaki flyback dari ujung satu ke ujung lainnya. Pasangan yang mempunya hambatan terbesar merupakan kaki primer.

Untuk kaki sekunder sendiri dilakukan dengan menyambungkan aliran dari corong ke kaki-kaki flyback lainnya yang menghasilkan spark. Kaki sekunder tersebut yang kemudian menjadi grounding atau aliran negatif pada elektroda.

Gambar 3. Kaki Flyback Transformer
(Sumber: Dokumen Pribadi)

3.3.3 Perakitan Pembangkit Tegangan Tinggi

Setelah preparasi PCB lampu CFL kemudian dapat dilakukan perakitan alat pembangkit tegangan tinggi agar dapat menghasilkan plasma non-termal. Berikut rangkaian pembangkit plasma berbasis CFL. Keluaran dari CFL dihubungkan dengan kedua kaki primer flyback sebagai masukan, kemudian kaki sekunder flyback dihubungkan dengan kabel capit buaya.



Gambar 4. Rangkaian Pembangkit Plasma Non-Termal
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Setelah berhasil dirangkai, pembangkit tegangan dapat diuji terlebih dahulu untuk menentukan apabila ada kebocoran. Pada pengujian terdapat kebocoran pada flyback sehingga flyback dikaitkan pada box agar tidak menyentuh dasar atau alas.

(a) (a)

Gambar 5. Pembangkit Tegangan Plasma Non-Termal, (b) Tampak Luar Alat Dalam Case
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

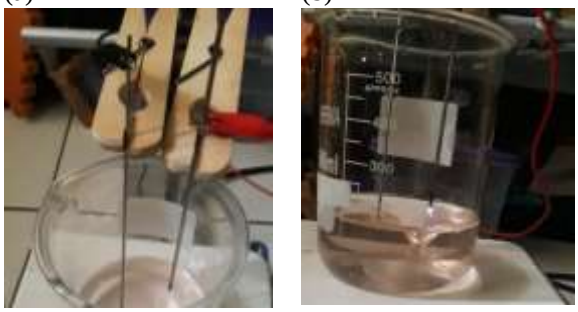
3.3.4 Pemilihan Elektroda dan Pengujian Treatment Plasma pada Air Limbah Tekstil

Elektroda yang dipakai adalah elektroda berbahan tungsten murni berkode hijau dan tungsten yang bercampur dengan thorium (2%) dengan kode merah. Elektroda kode hijau berdiameter 1,6 mm sedangkan elektroda kode merah berdiameter 2,4 mm.

Setelah alat pembangkit plasma diuji dan berhasil, kemudian dibuat reaktor plasma untuk pengujian dengan mengaliri elektroda dengan tegangan tinggi sehingga lucutan plasma mengenai air limbah tekstil yang diaduk secara otomatis oleh magnetic stirrer. Magnetic stirrer digunakan agar hasil lebih homogen dan merata.

Pengujian Treatment plasma terhadap air limbah kemudian dilakukan selama 30 dan 60 menit dengan mencelupkan katoda dan menggantung anoda di atas permukaan air dengan jarak maksimal 0,5 mm. Air yang terkena katoda kemudian akan mengaliri listrik sehingga plasma tegangan tembus di atas permukaan air dapat terjadi.

(a) (b)



Gambar 6. (a) Letak Kabel Alat Pembangkit ke Elektroda, dan (b) Plasma Pada Pengujian Reaktor Plasma (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Pilihan Elektroda Terhadap Kualitas Plasma

Elektroda yang digunakan sebagai anoda adalah tungsten dengan campuran thorium terlihat lebih baik saat dipakai untuk aliran listrik DC dengan menghasilkan warna plasma yang lebih tegas tidak pucat/pudar tidak bercabang dibandingkan dengan elektroda tungsten murni jika digunakan (kode warna hijau) sebagai anoda.

Elektroda kode merah sebagai anoda dengan elektroda kode hijau sebagai katoda yang dicelupkan ke dalam air bekerja paling optimal dibandingkan kode hijau-kode hijau, kode merah-kode hijau, maupun kode merah-kode merah.

4.2 Pengaruh Treatment Plasma Terhadap Sifat Fisik

Air Limbah Tekstil yang dijadikan Objek Uji memiliki warna ungu pekat yang walaupun masih dapat tembus pandang, dapat mencemari air sebagai polusi air. Dengan treatment yang dilakukan dengan variasi waktu 30 dan 60 menit, dapat dilihat cukup jelas perbedaan air limbah tekstil sebelum dan sesudah treatment plasma.

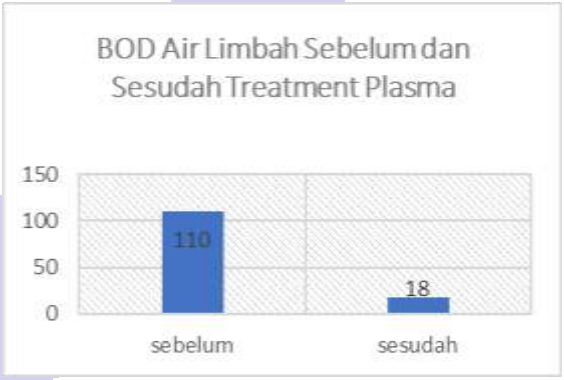
Dikutip dari (Kusumandari et al., 2019) fasa gas plasma yang menghasilkan spesies aktif, electron bermuatan, dan sinar UV dapat ‘menyerang’ cairan untuk dekolorisasi karena penguraian pada kromofor dalam molekul pewarna. Kadar H2O2 dan O3 yang terlarut dalam fasa cair dapat terkonversi menjadi radikal hidroksil dengan adanya radiasi UV dari plasma fase gas yamg mana dapat merusak ikatan antara kromofor dalam molekul pewarna.

Gambar 7. Pengaruh Plasma Terhadap Zat Warna Air Limbah Tekstil (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.2 Hasil Uji Plasma Terhadap BOD, pH, dan TDS

Uji hasil treatment plasma terhadap air limbah tekstil selama 60 menit kemudian diambil data-data BOD, pH, dan TDS nya sesuai dengan parameter Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 dan Enviromental Protection Agency (EPA).

1. **Pengaruh Terhadap** BOD. Hasil uji lab terhadap air limbah tekstil sebelum *treatment* yang mencapai 110 mg/L ,. melalui treatment plasma selama 60 menit didapati nilai BOD turun drastis menjadi 18 mg/L. Penurunan BOD ini yang mana mencapai 83% dari nilai asal. Penurunan nilai BOD yang drastis ini disebabkan spesies aktif hasil ionisasi yang terjadi pada fasa gas plasma.
   Penurunan nilai BOD menunjukkan bahwa plasma terbukti dapat menguraikan zat organic dan dikutip dari (Pamungkas et al., n.d.)oksidasi potensial yang tinggi untuk menguraikan senyawa organik pada air limbah yang disebabkan oleh spesies aktif dari proses ionisasi yang terjadi pada plasma. Tegangan dalam elektroda yang tinggi mendorong electron-elektron bergerak bebas memiliki energi tinggi sehingga memungkinkan terjadinya ionisasi.



Gambar 8. Grafik Perbedaan BOD Sebelum dan Sesudah Treatment (Sumber: Dokumen Pribadi)

2. **Pengaruh Terhadap pH**. pH yang didapati setelah treatment plasma mengalami penurunan dari 6,99 menjadi 6,66. Dikutip dari (Sinaga et al., n.d.), nilai pH yang dilucuti pijar plasma dapat berkurang dapat terjadi karena gas yang dihasilkan reaksi plasma dengan air dapat memproduksi gas-gas seperti OH, O, O3, H2O2 , dan NO. Gas-gas tersebut cenderung mengurangi pH cairan.

3. **Pengaruh Terhadao TDS.** Pada percobaan, nilai TDS (Total Dissolved Solid) atau Total Padatan Terlarut, yang berarti total padatan maupun partikel yang terlalut dalam air. Pada percobaan, jumlah bahan padat yang terlarut dalam air mengalami peningkatan. Nilai TDS yang sebelumnya adalah 327 mg/L menjadi 350 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena adanya salah satu elektroda yang dicelupkan di dalam

objek uji selama percobaan berlangsung sehingga memungkinkan korosi terhadap elektroda yang dipakai.

Hal lainnya yang dapat mempengaruhi naiknya nilai TDS adalah karena plasma treatment plasma membawa aliran listrik ke dalam air dan listrik dapat menghasilkan panas sehingga selama pengujian, air bertambah panas seiring berjalannya waktu, hal ini dapat dilihat dari gelas yang terdapat embun air pada gelas beaker karena air yang menguap. Menurut (Sinaga et al., n.d.)., meningkatnya nilai TDS setelah treatment plasma dapat dikarenakan oleh temperatur air sampel yang lebih tinggi dan volume yang berkurang sehingga memungkinkan untuk terjadi koagulasi.

5 KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisis yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa pembuatan alat pembangkit tegangan tinggi untuk menghasilkan plasma dapat dilakukan dengan rangkaian alat sederhana berbahan utama PCB lampu CFL – 85 W dan flyback transformer kapasitas 25 kV. Selain itu, plasma yang dilucutkan ke ai limbah dapat memberikan lingkungan yang lebih reaktif karena partikel tinggi energi, radiasi UV, dan reaksi radikal bebas di sekitar plasma mendorong perusakan dan penonaktivan sel bakteri. Air selama proses treatment plasma juga menjadi konduktif yang menyebabkan konsentrasi ion menjadi tinggi dan spesies aktif kimiawi yang mengurai zar organik lebih banyak dihasilkan.

Hasil uji treatment plasma terhadap air limbah tekstil menghasilkan kenaikan baku mutu limbah tekstil menghasilkan turunnya nilai BOD sebanyak 83%, penurunan pH sebanyak 4,72%, dan kenaikan nilai TDS sebanyak 6,57%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kusumandari, K., Saraswati, T. E., & Saputri, N. S. (2019). Lucutan Plasma Pijar Korona dengan Variasi Tegangan untuk Degradasi Metilen Biru. *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, *9*(01), 34. https://doi.org/10.13057/ijap.v9i01.29790

[2] Kusumandari, K., Saraswati, T. E., Wulandari, S. W., & Qusnudin, A. (2022). Atmospheric air plasma corona discharge for dye degradation of indonesian batik wastewater. *Indian Journal of Physics*, *96*(4), 1001–1008. https://doi.org/10.1007/s12648-021-02082-5

[3] Nur, M. (2011). *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Universitas Diponegoro Semarang .

[4] Pamungkas, A., Anggraini, I. N., Khairul, M., Rosa, A., & Herawati, A. (n.d.). *Aplikasi Lucutan Plasma Corona Dalam Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit*.

[5] Sinaga, H. H., al Falaq, H., Purwasih, N., & Permata, D. (n.d.). *Water Treatment Using Plasma Generated by High Voltage Tesla Transformer to Eliminate Escherichia Coli Bacteria*.

[6] Sudarto, J. H., Tembalang Semarang, S., Ilman Ilyas, N., Dwi Nugraha, W., & Sumiyati, S. (n.d.). *Penurunan Kadar TDS Pada Limbah Tahu Dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Biofilter Kerikil Hasil Letusan Gunung Merapi Dalam Bentuk Random (studi kasus: Industri Tahu Jomblang Semarang)*.

[7] Suyasa, W. B. (2015). *PENCEMARAN AIR & PENGOLAHAN AIR LIMBAH*. http://penerbit.unud.ac.id