

Rancang Bangun Insinerator Limbah Medis Berteknologi Plasma sebagai Filter Udara Hasil Pembakaran Limbah Medis

Sutan Nur Achmad¹, Ragil Adi Nugroho², Ifadatul Mardiyah³, Nurrizqi Oktavia⁴

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang
Email : sutannura@gmail.com

²Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang
Email : ragiladi8@gmail.com

³Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang
Email : nurriz.qi97@gmail.com

⁴Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang
Email : ifaatulmardiyah@gmail.com

ABSTRAK

Limbah medis merupakan limbah yang berasal dari aktivitas medis rumah sakit, klinik, atau unit pelayanan kesehatan berupa limbah benda tajam, infeksius, jaringan tubuh, sitotoksik, farmasi, kimia, dan limbah plastik yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi masyarakat. Limbah medis seringkali dimusnahkan dalam insinerator yaitu mesin yang digunakan untuk membakar sampah yang melibatkan temperatur tinggi. Namun, pembakaran limbah medis menggunakan insinerator masih menyisakan polusi udara termasuk virus dan bakteri. Oleh karena itu dibutuhkan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan ini. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penambahan reaktor plasma karena kemampuannya dalam mereduksi polutan yang ada di udara. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai pembuatan insinerator berteknologi plasma dengan tujuan menciptakan sebuah insinerator yang dapat mensterilisasi kandungan polutan hasil pembakaran termasuk bakteri dan virus. Reaktor plasma diletakkan dibagian cerobong insinerator dan dihubungkan dengan pembangkit tegangan tinggi DC. Insinerator yang dibuat memiliki kotak pembakaran dengan ukuran 25 cm x 25 cm x 40 cm dan cerobong dengan diameter 8 cm, dan tinggi 90 cm. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan pada hasil uji total zat padat terlarut (TDS) dan juga terjadinya penurunan kandungan CO₂ serta jumlah dari koloni bakteri. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi TDS sebesar 22.5% dengan suhu pembakaran 363 K.

Kata Kunci

Filter udara, insinerator, limbah medis, pembangkit tegangan tinggi DC, plasma

1. PENDAHULUAN

Rumah sakit merupakan sarana pelayanan kesehatan bagi masyarakat yang beberapa tahun belakangan ini berkembang pesat. Meningkatnya jumlah rumah sakit membawa dampak positif bagi masyarakat karena semakin mudahnya akses fasilitas kesehatan oleh masyarakat. Namun, seiring dengan meningkatkan jumlah rumah sakit, hal ini juga berdampak terhadap peningkatan jumlah limbah rumah sakit. Limbah rumah sakit merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas dan terbagi atas dua jenis yaitu limbah medis dan non-medis. Limbah medis adalah limbah yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksik, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan dan limbah kandungan logam berat yang tinggi [10]. Limbah medis inilah yang berpotensi besar dalam mengakibatkan pencemaran lingkungan karena mengandung bakteri dan virus.

Berdasarkan data WHO pada tahun 1999, rata-rata produksi limbah medis di negara berkembang berkisar antara 1-3 kg per tempat tidur per hari, sedangkan di negara maju, seperti Eropa dan Amerika mencapai 5-8 kg per

empat tidur per hari. Di negara-negara berkembang, limbah medis belum mendapat perhatian secara khusus masih dibuang dengan limbah domestik [1]. Padahal limbah medis berpotensi besar dalam menimbulkan risiko terhadap kesehatan apabila tidak ditangani dengan baik. Selain itu, juga akan memicu risiko terjadinya kecelakaan kerja dan penularan penyakit baik bagi para dokter, perawat, teknisi, dan semua yang berkaitan dengan pengelolaan rumah sakit maupun perawatan pasien dan pengunjung. Untuk mengatasi semakin meningkatnya jumlah limbah medis, limbah ini seringkali dimusnahkan dalam insinerator.

Insinerator adalah mesin yang digunakan untuk membakar sampah. Pembakaran atau pengkremasian melibatkan temperatur tinggi. Pembakaran mengubah limbah menjadi panas, gas, uap, dan abu. Hal ini berpotensi menghasilkan polusi udara jika tidak dikelola dengan baik. Apalagi limbah medis yang dimungkinkan mengandung bakteri atau virus yang tahan terhadap suhu tinggi. Bila hal ini tidak ditangani dengan baik akan menjadi permasalahan baru di lingkungan sekitar insinerator. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam mengatasi hal itu adalah dengan menggunakan reaksi plasma.

Plasma merupakan kondisi ketika gas terisi oleh partikel bermuatan dengan energi potensial antar partikelnya lebih kecil dibandingkan dengan energi kinetik partikel-partikel yang terdapat dalam gas tersebut^[6] Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase plasma. Maka secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas [2].

Salah satu cara pembangkitan plasma dilakukan melalui lucutan listrik [3]. Plasma terjadi ketika terbentuk percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan ion negatif [4]. Kondisi kuasinetral merupakan daerah dimana terdapat kerapatan ion (n_i) yang hampir sama dengan kerapatan elektron (n_e) sehingga dapat dikatakan $n_i \approx n_e \approx n$, dengan n menyatakan kerapatan secara umum yang disebut kerapatan plasma [5].

Salah satu pemanfaatan dari teknologi plasma adalah untuk mereduksi gas buang kendaraan bermotor [6]. Selain itu plasma juga dapat digunakan untuk membunuh virus dan kuman yang ada di udara [7]. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan rancang bangun insinerator limbah medis yang dilengkapi dengan teknologi plasma dengan tujuan untuk meminimalisis pencemaran udara akibat pembakaran limbah medis.

2. BAHAN DAN METODE

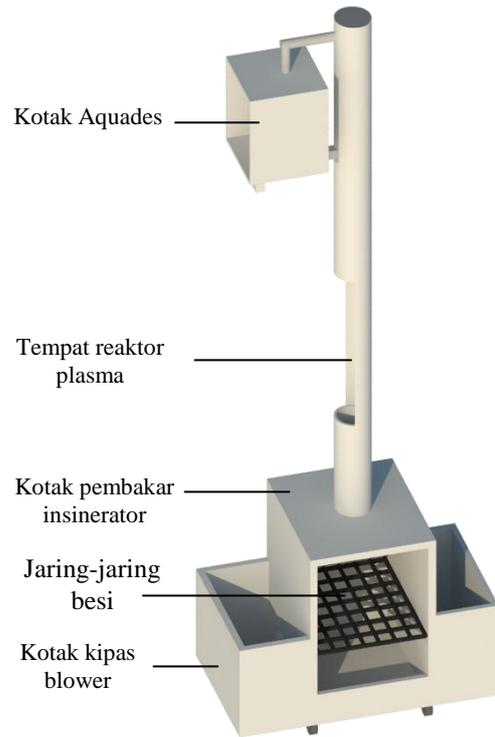
2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan insinerator berteknologi plasma adalah baja, jaring-jaring besi, solder blower, *component box packing*, osiloskop, amperemeter, transistor 2n3055, diode 1 a 4001, kabel *flyback*, tenol, pasta solder, transistor d313, ic osilator, kapasitor 1 nf dan 10 nf, resistor 330 Ω , 10 k Ω , 4 k Ω , arang kayu, kipas blower.

2.2 Metode

2.2.1 Pembuatan Insinerator Limbah Medis

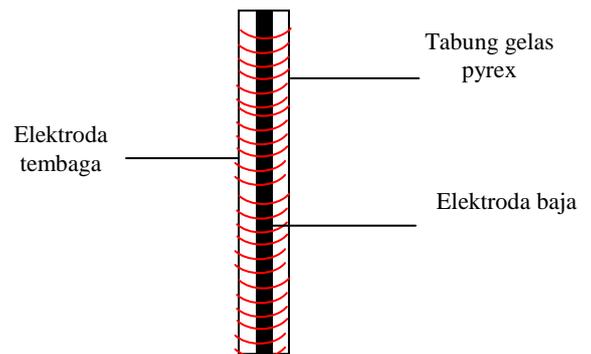
Insinerator limbah medis dibuat dengan bahan dasar dari plat baja yang kemudian dirancang berdasarkan desain pada Gambar 1. Pada desain ini insinerator terdiri dari bagian tungku pembakar dimana bahan bakar untuk pembakarannya adalah arang. Untuk menjaga agar briket arang tetap menyala selama proses pembakaran maka bagian samping kanan dan kiri tungku pembakar dilengkapi dengan kipas blower. Kemudian bagian cerobong dilengkapi dengan penutup yang bisa dibuka dan berguna sebagai jalan untuk memasukkan kedalam reaktor plasma. Kemudian pada bagian atas insinerator dilengkapi dengan kotak yang berfungsi sebagai jalan keluarnya asap hasil pembakaran. Asap hasil pembakaran dialirkan ke dalam aquades yang diletakkan di kotak, selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh pemberian plasma pada insinerator yang telah dirancang.



Gambar 1. Desain Insinerator

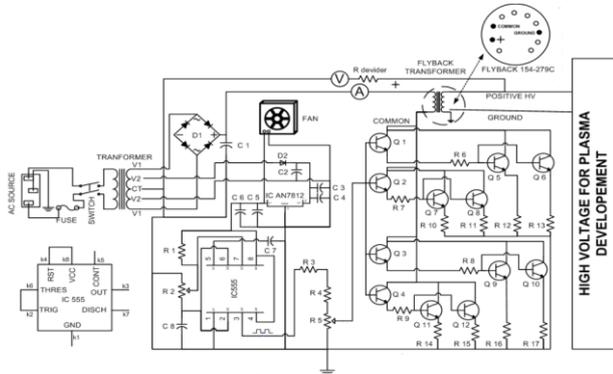
2.2.2 Pembuatan Reaktor Plasma

Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor plasma DBD (*Dielectric Barrier Discharge*) dengan tegangan pembangkit DC yang didesain sesuai dengan gambar 2. Reaktor plasma sebagai gelas dielektrik, dirancang menggunakan tabung gelas pyrex (gelas borosilikat) yang berfungsi sebagai penghalang dielektrik dengan diameter 3 cm dan panjang 28 cm. Elektroda pertama yang digunakan adalah elektroda dengan bahan dari plat baja yang kemudian dimasukkan ke dalam gelas dielektrik. Sementara untuk elektroda kedua digunakan bahan dari kawat tembaga yang dililitkan pada bagian luar gelas dielektrik. Plasma dibangkitkan pada ruang antar elektroda yaitu pada bagian dalam gelas dielektrik sehingga asap yang keluar melalui tabung gelas dielektrik ini akan terfilter dan mengalami degradasi polutan.



Gambar 2. Desain Reaktor Plasma DBD

Untuk membangkitkan lucutan plasma pada reaktor plasma, digunakan pembangkit tegangan tinggi DC yang dirancang berdasarkan skema rangkaian pada gambar 3. Desain skema ini mengacu penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Nur^[2]. Pada rangkaian tersebut, dilakukan penguatan tegangan menggunakan *flyback* yang dipicu oleh adanya sinyal pulsa yang dibangkitkan oleh rangkaian osilator sebagai pembangkit sinyal stabil dan penguat arus. Jenis trafo yang digunakan dalam menaikkan tegangan pada penelitian ini adalah trafo flyback TV 21 inch dengan karakteristik kerja pada frekuensi 60-70 kHz dan *duty cycle* 50-55%. Tegangan keluaran yang dihasilkan memiliki tegangan maksimal DC 14 kV.



Gambar 3. Skema Sumber Tegangan Tinggi DC

2.2.3 Penggabungan Sistem Secara Keseluruhan

Penggabungan sistem secara keseluruhan dilakukan dengan memasang reaktor plasma pada bagian cerobong insinerator limbah medis. Pemasangan pada bagian cerobong berfungsi agar asap yang mengalir sebagai hasil dari pembakaran limbah medis dapat difilter oleh reaktor plasma.

2.2.4 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan pengujian awal berupa Uji fisik asap hasil pembakaran dan TDS (*Total Dissolved Solids*). Tujuannya untuk mengetahui jumlah padatan terlarut pada asap hasil pembakaran limbah medis yang berupa dua buah lateks. Selanjutnya asap hasil pembakaran akan diamati apakah terjadi perubahan dengan adanya penambahan reaktor plasma pada insinerator. Sementara itu untuk uji TDS dilakukan dengan mengalirkan asap hasil pembakaran ke dalam aquades untuk kemudian dilakukan pengukuran jumlah padatan terlarut menggunakan TDS meter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hasil Rancang Bangun Insinerator

Mula - mula membuat insinerator yang terbuat dari plat baja di sesuaikan dengan insinerator yang ada di rumah sakit, selanjutnya pembuatan teknologi plasma. Teknologi plasma terbuat dari High Voltage dan Plasma Reaktor. Kemudian dilakukan penggabungan insinerator dengan teknologi plasma. Insinerator hasil rancang bangun pada penelitian ini memiliki spesifikasi kapasitas pengolahan

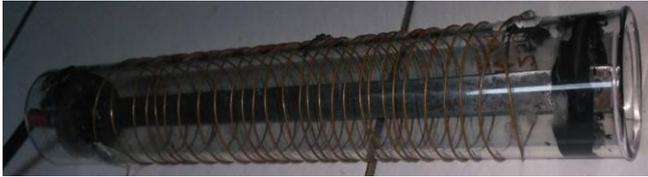
limbah sebesar $6.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ dengan suhu pembakaran menggunakan briket arang sebesar 363 K dengan dimensi kotak pembakaran 25 cm x 25 cm x 40 cm dan cerobong dengan diameter 8 cm, dan tinggi 90 cm. Berikut adalah hasil rancang bangun insinerator limbah medis yang telah dilakukan.



Gambar 4. Hasil Rancang Bangun Insinerator

3.2 Analisa Hasil Rancang bangun reaktor plasma

Disain sistem reaktor plasma yang dibuat pada penelitian ini tampak pada Gambar 5. Sistem tersebut terdiri atas sumber tegangan DC sebagai sumber daya pembangkit plasma dan sistem elektroda titik-bidang (*point to plane geometry*) tempat fase plasma terjadi. Plasma dibangkitkan pada ruang antar elektroda berkonfigurasi elektroda. Titik - bidang menggunakan sumber tegangan tinggi DC sehingga menimbulkan medan listrik tak seragam pada ruang antar elektroda dan memicu terjadinya proses pembangkitan plasma. Pada hasil rancang bangun, didapatkan reaktor plasma dengan spesifikasi panjang 28 cm, diameter penampang 3 cm dengan 1 batang baja sebagai elektroda bagian dalam dan 29 lilitan kawat tembaga sebagai elektroda bagian luarnya. Pada proses rancang bangun ini juga mempertimbangkan prinsip persamaan kontinuitas mengenai aliran fluida dinamis pada suatu ruang bahwa besarnya kecepatan aliran fluida berbanding terbalik dengan kecepatan aliran fluida [8]. Dengan demikian fluida yang mengalir melalui reaktor plasma dimana dalam penelitian ini adalah asap hasil pembakaran menggunakan insinerator memiliki waktu yang lebih lama untuk berada di dalam reaktor plasma sehingga degradasi polutan pada asap dapat berlangsung secara maksimal. Berikut adalah hasil rancang bangun dari reaktor plasma DBD pada penelitian ini.



Gambar 5. Hasil Rancang Bangun Reaktor Plasma DBD

Sementara itu untuk sistem pembangkit tegangan tinggi dihasilkan hasil rancangan sesuai dengan skema yang telah dijelaskan sebelumnya. Pembangkit tegangan tinggi DC ini memiliki spesifikasi yaitu tegangan masukan sebesar 14 kV dan arus sebesar 0,5 mA dengan sumber tegangan awalnya adalah tegangan listrik AC (bolak-balik) dari PLN. Hasil dari rancang bangun pembangkit tegangan tinggi DC yang telah dirancang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Rancang Bangun Sistem pembangkit Tegangan Tinggi DC

Selanjutnya dilakukan uji fisik plasma. Tujuannya untuk mengamati fenomena plasma fisik pada reaktor DBD yang terlihat secara kasat mata dan untuk mengetahui apakah reaktor ini dapat digunakan sebagai filter pada asap hasil pembakaran. Pada operasi ini digunakan tegangan listrik 14 kV

Pada tegangan masukan reaktor sebesar 14 kV mulai terjadi suatu lucutan berwarna ungu yang stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa tegangan masukan sebesar 14 kV, aman dan cocok untuk reaktor plasma DBD. Penentuan nilai tegangan masukan ini dilakukan untuk mempertimbangkan agar reaktor tidak rusak (pecah) saat digunakan.

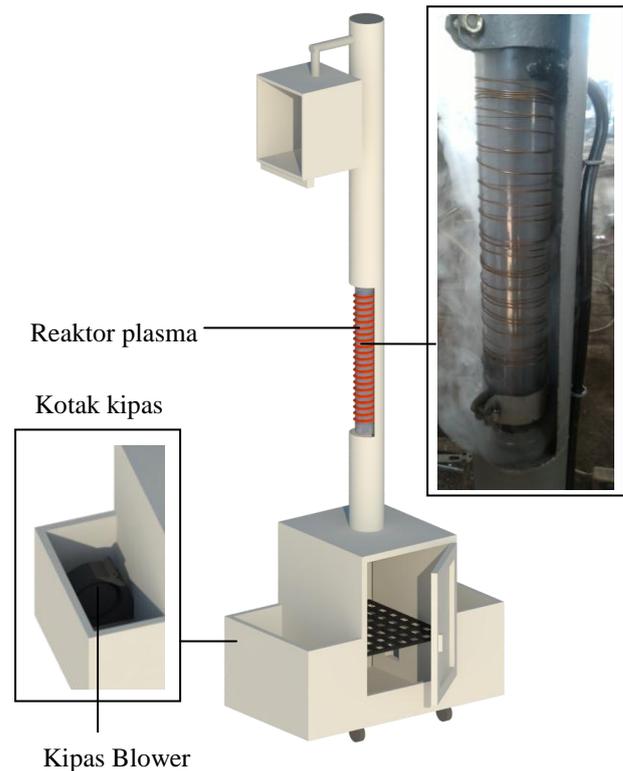


Gambar 7. Hasil Uji Fisik Plasma

3.3 Analisis Hasil Rancang Bangun Insinerator Berteknologi Plasma

Penggabungan sistem secara keseluruhan seperti pada Gambar 8, sesuai dengan metode yang telah dijelaskan

sebelumnya, reaktor plasma DBD yang telah dirancang, diletakkan pada bagian cerobong insinerator. Dengan demikian ketika terjadi pembangkitan lucutan plasma oleh pembangkit tegangan tinggi DC dapat terjadi filtrasi asap hasil pembakaran.



Gambar 8. Pemasangan Reaktor Plasma pada Insinerator

Pengujian awal dilakukan untuk mengetahui apakah sistem bekerja dengan baik. Pada tahap ini dilakukan pembakaran limbah medis berupa lateks selama 10 menit dengan suhu pembakaran sebesar 363 K. Saat terjadi proses pembakaran, pada bagian insinerator yang telah terpasang reaktor plasma ditutup agar tidak terpengaruh lingkungan luar dan juga untuk alasan keamanan. Secara visual lucutan plasma tidak terlihat secara fisik, namun adanya bunyi desis pada ujung elektroda pada bagian reaktor plasma menandai bahwa reaktor plasma bekerja dengan baik sebagai filter pada proses pembakaran [9].

3.4 Hasil Pengujian Insinerator Berteknologi Plasma

Pengujian yang telah dilakukan memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan reaktor plasma pada asap hasil pembakaran dan dianalisa secara kualitatif dan kuantitatif kinerja dari Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, lateks terbakar secara keseluruhan dalam waktu 10 menit seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Secara fisik tidak ada perubahan warna pada asap keluar melalui lubang pembuangan asap pada insinerator. Asap yang keluar adalah berwarna putih pekat. Hal ini terjadi karena kinerja reaktor plasma dalam memfilter asap hasil pembakaran membutuhkan waktu lebih lama mengingat bahwa dalam penelitian ini hanya dilakukan pembakaran dua buah lateks dengan waktu 10 menit sehingga secara fisik tidak terjadi

perubahan yang signifikan pada warna asap hasil pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja dari reaktor plasma masih kurang maksimal untuk waktu 10 menit Berdasarkan penelitian Ari Sugiharto, dkk [6] seharusnya kabut asap tersebut secara visual 100% tereduksi atau hilang. Hilangnya kabut asap tersebut dikarenakan partikel koloid yang terkandung didalam kabut asap tersebut setelah masuk ke dalam reaktor, kemudian akan termuati oleh adanya elektron yang terdapat di dalam plasma, sehingga partikel tersebut akan menjadi partikel bermuatan, dan oleh gaya elektrostatik maka partikel bermuatan tersebut akan tertarik oleh masing-masing elektroda. Dengan demikian maka partikel tersebut akan terendapkan pada elektroda kawat tersebut [6].

Tabel 1. Hasil Uji Polutan Padat Menggunakan TDS Meter

Menit ke-	Tanpa Plasma	Dengan Plasma
5	17 ppm	13 ppm
10	33 ppm	24 ppm
15	27 ppm	26 ppm
20	30 ppm	25 ppm
25	34 ppm	22 ppm

Tinjauan secara kualitatif pada asap hasil pembakaran pada penelitian ini memberikan perbandingan hasil yang cukup signifikan mengenai pengaruh penambahan reaktor plasma pada insinerator. Namun, jika ditinjau secara kuantitatif pada uji jumlah padatan terlarut menggunakan TDS meter, menunjukkan bahwa jumlah kadar polutan padat terlarut mengalami penurunan setelah reaktor plasma diaktifkan selama proses pembakaran limbah medis. Penurunan tersebut dikarenakan partikel polutan padat yang terkandung didalam asap pembakaran tersebut setelah masuk ke dalam reaktor, kemudian akan termuati oleh adanya elektron yang terdapat di dalam plasma, sehingga partikel tersebut akan menjadi partikel bermuatan, dan oleh gaya elektrostatik maka partikel bermuatan tersebut akan tertarik oleh masing-masing elektroda. Dengan demikian maka partikel polutan padat tersebut akan terendapkan pada elektroda bagian dalam dari reaktor plasma.

Dengan demikian, berdasarkan hasil dari rancang bangun insinerator berteknologi plasma serta pengujian awal yang telah dilakukan, hasil penelitian ini tentunya dapat dijadikan pertimbangan untuk dikembangkan pada tahap penelitian selanjutnya. Meskipun masih terdapat kekurangan pada alat yang telah dirancang, namun telah terbukti bahwa plasma dapat mengurangi kadar polutan pada asap hasil pembakaran limbah medis. Dengan demikian riset ini pantas dikembangkan untuk

mengoptimalkan kinerja dari insinerator limbah medis yang ada dirumah sakit, sehingga dapat meminimalisir pencemaran udara akibat pembakaran limbah medis menggunakan insinerator.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai rancang bangun Insinerator limbah medis berteknologi plasma dapat disimpulkan bahwa teknologi plasma dapat digunakan untuk mereduksi polutan yang terkandung pada asap hasil pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi TDS sebesar 22.5% dengan suhu pembakaran 363 K.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. E. Da Silva, A. E. Hope, M. M. Ravello, N. Mello. 2004. *Medical Waste Management in South Brazil*, Waste Management, Vol. 2, pp. 600-605.
- [2] M. Nur. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] T. Czech, J. Mizeraczyk, A. Jaworek, A. Krupa, L. Karpinski, and J. Jakubowski. 1995. *Pulsed and DC Streamer Corona Induced Plasmas for NO_x Removal From Exhaust Gases*, 2nd National Symposium PLASMA, Warsaw.
- [4] Tseng, C.H. 1999. *The application of Pulsed Corona Discharge Technology in Flue Gas Desulfurization and Denitrification*, The Air & Waste Management Association's 92nd Annual Meeting & Exhibition, St. Louis, Missouri, USA.
- [5] Francis, F.C. 1974. *Introduction to Plasma Physics*, Plenum Press, New York.
- [6] Ari Sugiharto. SL1, Rasito2, M.Nur dan A. Suseno. Juli 2004. *Pemanfaatan Plasma Non Termik dalam Upaya Pengendalian Laju Polusi Udara Akibat Emisi Gas Kendaraan Bermotor Bermesin 2 tag*, Berkala Fisika, Vol. 7, pp. 103-110.
- [7] M. Moreau, N. Orange, and M.G.J. Feuilloley. 2008. *Non-thermal Plasma Technologies: New Tools for Bio-decontamination*, Biotechnology Advances. France.
- [8] P. A. Sleight and C. J. Noakes. 2009. *CIVE1400: An Introduction to Fluid Mechanics*, School of Civil Engineering, University of Leeds.
- [9] A. Akses. 2003. *Electromagnetic Characteristics of High Voltage DC Corona*, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Istanbul, Turkey.
- [10] Depkes RI. 2004. *Sistem Kesehatan Nasional*. <http://perpustakaan.depkes.go.id:8180/bitstream/123456789/724/5/BK2004-A5.pdf> [Diakses tanggal 09 juli 2017]