

Pembuatan Generator Ozon Sebagai Agen Oksidator Tembaga Pada Produksi Tembaga Sulfat

Yadi Yunus¹, Febri Kurniawan², Pandu Dwi. CP³

1) Poltek Teknologi Nuklir Indonesia Jl. Babarsari YKBB 6101 Yogyakarta

2) Poltek Teknologi Nuklir Indonesia Jl. Babarsari YKBB 6101 Yogyakarta

3) PT Cahya Kurniawan Teknologi Jl. Magelang Tempel Sleman Yogyakarta

yadiyunus@gmail.com

ABSTRAK

Ozon dengan konsentrasi tinggi sebagai oksidator logam tembaga, dapat diproduksi secara in situ dan berkelanjutan menggunakan generator ozon. Dalam penelitian ini telah dibuat generator ozon terintegrasi dengan oksigen konsentrator agar dapat mensuplai oksigen konsentrasi tinggi pada tabung generator ozon. Metode untuk menghasilkan ozon yaitu dengan melalukan gas O₂ (oksigen) pada *corona discharge*, yang dibangkitkan dengan menggunakan tegangan tinggi yang dibuat dengan cara mengossilasi tegangan listrik DC menjadi tegangan listrik bersinyal (AC) yang kemudian dilipat gandakan tegangannya menjadi tegangan tinggi menggunakan trafo koil mobil. Untuk mengossilasi tegangan listrik DC menggunakan Osilator berbasis IC555 yang dilengkapi dengan potensiometer 100k sebagai pengatur frekuensi dan tegangan sinyal keluarannya, yang kemudian diperkuat dengan transistor DA1047, dan sinyal yang telah diperkuat ini diinputkan ke sisi primer koil mobil. Selain itu dengan tujuan meningkatkan produk ozon, pada generator ozon ini dilengkapi dengan oksigen konsentrator beserta kran pengatur laju aliran udara masukan sebagai bahan bakunya. Dari percobaan pengujian ketika variasi tegangan input primer koil 8, 10, 12, 14 dan 16 volt, dan dengan laju alir udara masukan (2,5 ; 5; 7,5 ; 10; 20 dan 30 liter/menit), dan setiap kali percobaan menggunakan waktu 5 menit, hasilnya produksi Ozon tertinggi adalah 0,038 ppm/menit dicapai pada tegangan input koil 16 volt dan laju aliran udara 7,5 L/menit.

Kata kunci: generator ozon, corona disharge, pembangkit tegangan tinggi, koil mobil, oksigen konsentrator

ABSTRACT

Ozone with high concentration as an oxidizing copper metal, can be produced in situ and sustainably using an ozone generator. In this research, an integrated ozone generator with oxygen concentrator has been made in order to supply high concentrations of oxygen to the ozone generator tube. The method for producing ozone is by passing O₂ (oxygen) gas on the corona discharge, which is generated using a high voltage which is made by oscillating DC electric voltage into a signaled voltage (AC) which is then multiplied by the voltage into a high voltage using a car ignition coil. To oscillate the DC voltage, an oscillator based on IC555 is equipped with a 100k potentiometer as a frequency regulator and the output signal voltage, which is then amplified with a DA1047 transistor, and this amplified signal is input to the primary side of the car coil. In addition, with the aim of increasing ozone products, this ozone generator is equipped with an oxygen concentrator along with a valve for regulating the flow rate of the input air as its raw material. From the test experiment when the primary coil input voltage variation is 8, 10, 12, 14 and 16 volts, and with the input air flow rate (2.5 ; 5; 7.5 ; 10; 20 and 30 liters/minute), and each time The experiment used 5 minutes, the result was that the highest Ozone production was 0.038 ppm/minute achieved at a coil input voltage of 16 volts and an air flow rate of 7.5 L/minute.

Keyword : ozone generator, corona discharge, high voltage generator, car ignition coil, oxygen concentrator

PENDAHULUAN

Pemanfaatan senyawa kimia di era modern seperti saat ini, secara luas dimanfaatkan oleh manusia modern diberbagai bidang. Salah satu senyawa kimia yang banyak digunakan adalah Tembaga Sulfat Pentahidrat (CuSO₄.5H₂O) yang merupakan salah satu senyawa kimia dengan beragam aplikasi. Ini dibuktikan dengan banyaknya pemakaian tembaga sulfat diberbagai sektor, seperti, pertanian, peternakan, industri, dan kesehatan. Tercatat pada tahun 2018, kebutuhan Tembaga Sulfat global mencapai 275 ribu ton per tahun. Selain itu, presentasi pertumbuhan pasar juga terus meningkat 5% sejak tahun 2017 dan diprediksi akan terus berlanjut hingga tahun 2024 (*Market Watch*, Inc. Agustus 2020).

Secara umum negara pengekspor Tembaga Sulfat terbesar adalah Cina, Rusia, Meksiko, Afrika Selatan, dan Chili. Sedangkan pengimpor terbesar merupakan negara di zona Asia Pasifik, Amerika Utara, dan Eropa. Lebih spesifik disebutkan bahwa Amerika Serikat merupakan pengimpor terbesar, yang kemudian diikuti oleh Australia, Kanada, Malaysia, dan juga Indonesia.

Keberadaan industri pertanian maupun peternakan di Indonesia, merupakan dua faktor utama yang mempengaruhi tingginya impor Tembaga Sulfat. Badan Pusat Statistik (BPS) menginformasikan sejak tahun 2010 sampai 2019, jumlah impor tembaga sulfat Indonesia berada pada kisaran 15 ribu ton. Berdasarkan rerata pertumbuhannya, dapat diketahui selama 10 tahun terakhir, impor Tembaga Sulfat rata-rata naik 6,5% setiap tahunnya. Sampai dengan saat ini di Indonesia telah ada beberapa pabrik yang memproduksi senyawa Tembaga Sulfat, salah satunya adalah PT. Cahya Kurniawan Teknologi.

Tahapan proses produksi Tembaga Sulfat yang sudah berjalan di PT. Cahya Kurniawan Teknologi meliputi, *crussing* logam tembaga, proses oksidasi dan pembentukan senyawa Tembaga Sulfat, penguapan, kristalisasi, pemisahan dan pengeringan kristal Tembaga Sulfat hasil produksi. Dalam proses oksidasi logam tembaga, digunakan Asam Nitrat (HNO_3) sebagai agen oksidator dan menghasilkan gas Nitrogen Oksida (NO_2) yang mencemari lingkungan. Selain itu penggunaan Asam Nitrat sebagai agen oksidator juga menambah biaya produksi yang mesti dikeluarkan untuk pengadaannya secara berkelanjutan sebagai bahan baku produksi. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan karena gas buang Nitrogen Oksida dan menurunkan beban biaya produksi, diperlukan pengganti agen oksidator yang lebih ramah lingkungan dan relatif murah yakni dengan gas Ozon (O_3).

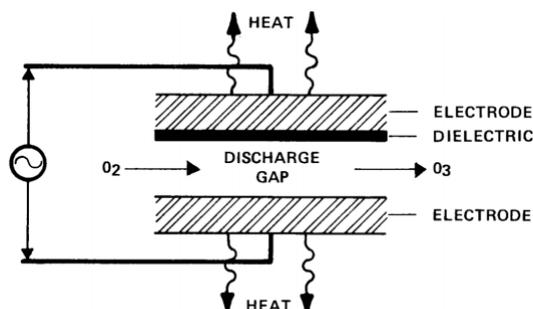
Jenis gas Ozon ini dapat sebagai agen oksidator yang dapat digunakan sebagai pengganti HNO_3 . Ozon dapat mengoksidasi logam Tembaga (Cu) menjadi Tembaga Oksida (CuO) yang selanjutnya bereaksi dengan ion Sulfat (SO_4), reaksi Tembaga Oksida dengan ion Sulfat membentuk produk CuSO_4 . Reaksi oksidasi dengan menggunakan Ozon menghasilkan gas Oksigen (O_2) yang ramah lingkungan.

Ozon juga dapat diproduksi dengan menggunakan generator Ozon. Penambahan unit generator Ozon sebagai pengganti agen oksidator pada instalasi produksi Tembaga Sulfat Pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), maka tidak memerlukan pembelian agen oksidator yang berkelanjutan.

Berdasar alasan tersebut maka dalam paper ini akan dipaparkan bagaimana membuat generator Ozon yang dapat berfungsi sebagai agen oksidator pada instalasi produksi Tembaga Sulfat Pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

DASAR TEORI

Ozon berbentuk gas biru pucat yang mengiritasi, lebih berat dari udara, sangat reaktif dan tidak stabil. Ozon tidak dapat disimpan dan diangkut sehingga harus dibuat secara "in situ". Thomas Andrews menunjukkan bahwa ozon (O_3) hanya dibentuk oleh oksigen (O_2), dan pada tahun 1863 Soret menyatakan bahwa hubungan, antara oksigen dan ozon dengan menemukan bahwa tiga (3) volume O_2 menghasilkan dua (2) volume O_3 . Dengan pengaliran O_2 melalui medan tegangan listrik yang tinggi maka terbentuklah ozon (O_3), perhatikan Gambar 1



Gambar 1. Proses pembentukan Ozon (O_3)

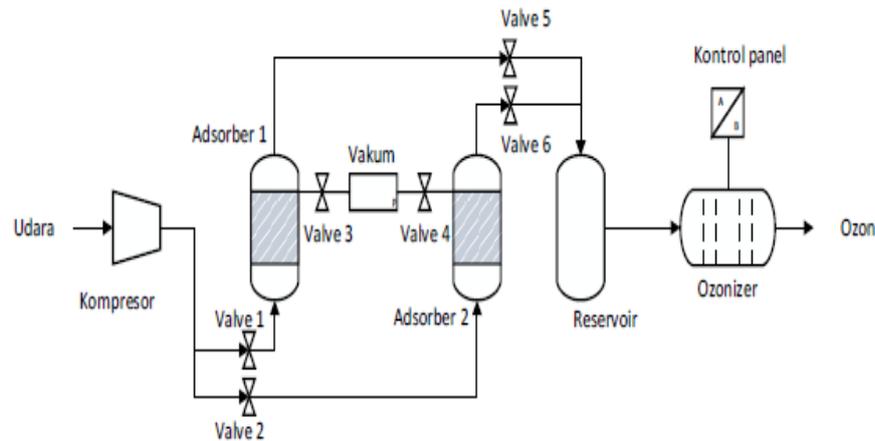
Di alam pembentukan Ozon adalah petir, sehingga petir ternyata sangat bermanfaat agar lapisan pelindung bumi tidak bolong. Dalam tulisan ini akan dipaparkan tentang rancang bangun generator ozon yang dilengkapi dengan *oxygen concentrator* yang bertujuan dengan daya dan tegangan listrik yang sama Ozon yang dihasilkan lebih tinggi konsentrasinya.

Pembuatan pembangkit tegangan tinggi menggunakan trafo coil mobil yang diberi masukan sinyal listrik berarus besar dan frekuensi tinggi. Sinyal listrik frekuensi tinggi sebagai masukan pada lilitan primer koil mobil dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian oscilator PWM menggunakan IC 555. Sinyal listrik keluaran oscilator ini masih lemah/kecil gelombang arusnya, maka untuk memperkuatnya sinyal keluaran oscilator digunakan sebagai triger transistor MOSFET sebagai penguat sinyal gelombang arus.

METODE

Pembuatan Generator Ozon Sebagai Agen Oksidator Tembaga Pada Produksi Tembaga Sulfat (Yadi Yunus)

Secara prinsip blok diagram proses pembangkitan ozon seperti ditampilkan Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Blok diagram generator ozon

Proses jalannya aliran udara sebagai bahan baku hingga menjadi Ozon adalah seperti berikut:

1. Udara luar dihisap dengan kompresor dan ditampung ke dalam tangki.
2. Udara dari tangki disalurkan ke reservoir oksigen setelah melalui proses pengkonsentrasian oksigen dengan *oxygen concentrator*. Dalam hal ini udara bebas yang kandungannya $\pm 21\%$ sedangkan nitrogennya 75% dan 4% gas lainnya, maka dengan *oxygen contrator* udara dari tangki kompresor terutama Nitrogennya dipisahkan.
3. *Oxygen concentrator* terdiri dua (2) tabung absorber yang berfungsi sebagai penyerap berbagai material gas selain oxygen (terutama nitrogen). Dua absorber tersebut kerjanya bergantian, dimana ketika absorber 1 telah jenuh dengan nitrogen maka nitrogen dilepas/dibuang dan sementara itu dalam waktu yang sama absorber 2 yang kondisi normal (tidak jenuh) bekerja mengalirkan udara yang sambil nitrogennya dipisahkan /diserap sehingga tinggal oksigennya yang mengalir ke reservoir. Kemudian ketika absorber 2 sudah jenuh dengan nitrogen absorber 1 sudah tidak jenuh nitrogen lagi karena telah dilepas ketika absorber 2 bekerja. Dari sini maka absorber 1 ganti yang bekerja mengalirkan oksigen dan menyerap nitogen. Begitu seterusnya dua absorber tersebut bekerja secara bergantian yang mekanismenya diatur dengan valve-valve yang ada. Adapun valve-valve bekerja secara urut dan bergantian diatur dengan program kontrol yang dibuat pada mikro kontrol Arduino.
4. Selanjutnya oksigen dari reservoir diinjeksikan ke dalam tabung generator ozon yang di dalamnya terdapat medan tegangan listrik yang tinggi hinngga timbul corona yang mengakibatkan oksigen (O_2) bermutasi menjadi Ozon (O_3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil yang berupa perangkat keras di antaranya adalah:

Oxygen concentrator terdiri dari 2 tabung dari bahan pipa PVC diameter 3 inc panjang 30 cm seperti Gambar 3. Dua tabung ini di dalamnya diisi dengan butiran zeolit sebagai penyerap Nitrogen. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2 blok rangkaian generator Ozon yang mana 2 tabung penyerap Nitrogen tersebut dirangkai dengan 6 buah valve yang operasionalnya dikendalikan dengan mikro kontrol arduino dan cara kerjanya sebagaimana telah dijelaskan di atas.

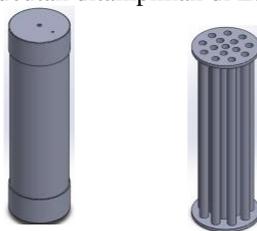


Gambar 3 Tabung penyerap Nitrogen

2. Tabung Ozoniser seperti Gambar 4 dibuat dari pipa stainless steel diameter 4 inc panjang 30 cm yang di dalamnya dipasang 15 tabung lucutan. Dalam hal ini masing-masing tabung lucutan dibuat dari pipa

stainless steel diameter luar 12 mm tebal 1mm diisi dengan elektrode negatif berupa batang stainless steel diameter 6 mm sebagai elektrode positif yang dimasukan/ dibungkus dalam pipa gelas pyrex diameter luar 8 mm sebagai material dielektrikum.

Adapun detail dari tabung lucutan ditampilkan di Lampiran 1 dari paper ini.



Gambar 4. Tabung Ozonizer

3. Rangkaian kontrol valve-valve pada oxygen concentrator. Rangkaian ini berfungsi sebagai pengendali operasional valve-valve pada oxygen concentrator agar oksigen dari udara bebas terpisah dari unsur gas dominannya (Nitrogen) dan unsur gas lainnya. Sehingga Oksigen yang hendak diinjeksikan ke dalam tabung ozoniser lebih mendekati kemurniannya selanjutnya produksi gas ozon dari tabung ozoniser lebih cepat dan lebih berkualitas.
Rangkaian kontrol ini berupa rangkaian elektronika berbasis mikro kontrol Arduino yang listing programnya dicantumkan pada Lampiran 2.
4. Rangkaian driver coil mobil, rangkaian ini diperlihatkan seperti gambar pada Lampiran 3. Rangkaian ini berfungsi untuk membangkitkan medan listrik tegangan tinggi hingga terjadi kilatan listrik (corona discharge) yang pada akhirnya untuk memutasikan O_2 (oksigen) menjadi O_3 (ozon). Prinsip kerja rangkaian ini adalah mengoscilasi tenaga listrik DC menggunakan oscilator IC 555 hingga output sinyal oscilasi diperkuat dengan transistor D1047. Sinyal yang telah diperkuat diumpungkan ke coil primer dari coil mobil hingga dari coil sekunder keluarlah tegangan listrik tinggi yang mampu menimbulkan kilatan listrik yang dapat untuk memutasikan O_2 menjadi O_3 .
5. Dari 4 rangkaian di atas diintegrasikan menjadi sebuah rangkaian generator ozon. Adapun hasil wujud hardwarenya seperti diperlihatkan Gambar di Lampiran 4.
6. Dari generator ozon hasil rancangbangun selanjutnya dilakukan pengujian operasional alat. Uji operasional untuk produksi ozon dilakukan dengan tanpa oxygen concentrator dan uji operasional dengan oxygen concentrator. Variabel bebas yang diambil dalam pengujian adalah tegangan input coil mobil dengan cara mengatur potensiometer yang dipasang pada pin 7 IC 555 dan variabel bebas lainnya adalah laju aliran udara bebas yang diinjeksikan ke sistem generator ozon. Sedangkan variabel tak bebas yang diamati adalah laju aliran ozon yang dihasilkan dan frekuensi sinyal tegangan pada yang dimasukkan ke coil mobil/keluaran oscilator. Adapun data-data yang berhasil dihimpun dari beberapa pengujian tersebut disajikan dalam Tabel-tabel berikut.
7. Dari pengujian dengan jalan mengatur potensiometer dengan maksud memvariasi tegangan input coil mobil ternyata ini identik mengatur frekuensi sinyal input coil mobil. Adapun data-data yang berhasil dihimpun adalah sebagai berikut.

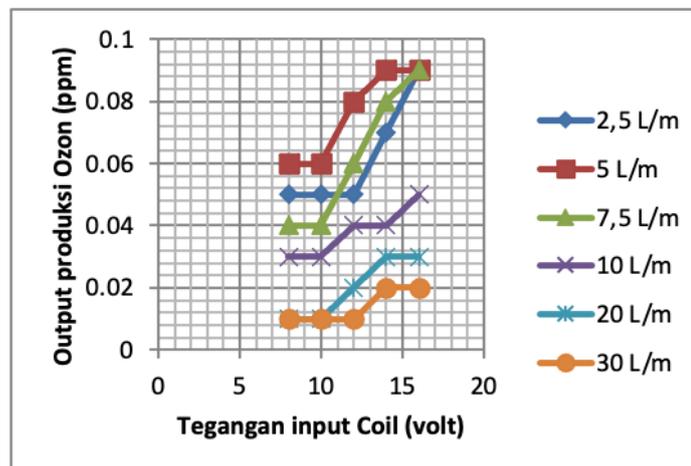
Tabel 1. Produksi ozon dengan variasi tegangan input coil dan laju udara input dengan tidak menggunakan Oxygen concentrator

| Tegangan Input coil | Laju udara Frekuensi | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 20 | 30 |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | L/min | L/min | L/min | L/min | L/min | L/min |
| | | ppm | | | | | |
| 8 volt | 500 Hz | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| 10 volt | 1500 Hz | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| 12 volt | 2500 Hz | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
| 14 volt | 3000 Hz | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| 16 volt | 4500 Hz | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |

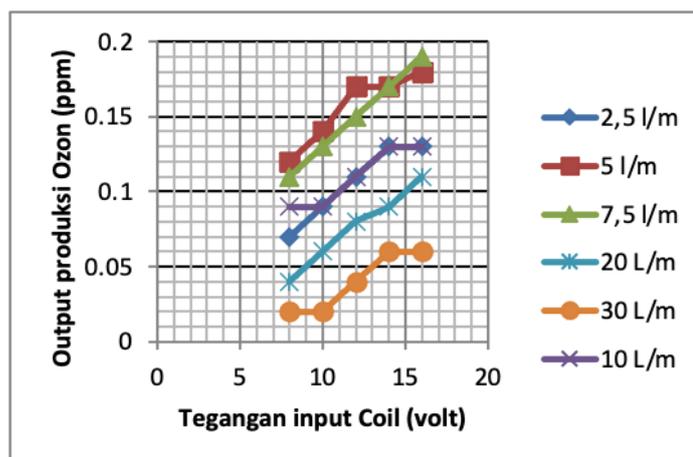
Tabel 2. Produksi ozon dengan variasi tegangan input coil dan laju udara input menggunakan Oxygen concentrator

| Tegangan Input coil | Laju udara Frekuensi | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 20 | 30 |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | L/min | L/min | L/min | L/min | L/min | L/min |
| | | ppm | | | | | |
| 8 volt | 500 Hz | 0,07 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,04 | 0,02 |
| 10 volt | 1500 Hz | 0,09 | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,06 | 0,02 |
| 12 volt | 2500 Hz | 0,11 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 0,08 | 0,04 |
| 14 volt | 3000 Hz | 0,13 | 0,17 | 0,17 | 0,13 | 0,09 | 0,06 |
| 16 volt | 4500 Hz | 0,13 | 0,18 | 0,19 | 0,13 | 0,11 | 0,06 |

Dari data-data yang dihimpun dalam dua Tabel tersebut jika ditampilkan secara grafis adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik produksi Ozon fungsi tegangan input coil dan fungsi laju aliran udara (oksigen) tidak menggunakan Oksigen konsentrator.



Gambar 6. Grafik produksi Ozon fungsi tegangan input coil dan fungsi laju aliran udara (oksigen) menggunakan Oksigen konsentrator.

Dari data angka-angka pada tabel dan data grafis terlihat bahwa ketika tidak menggunakan Oksigen konsentrator maupun ketika menggunakan Oksigen konsentrator tegangan input semakin tinggi maka hasil produksi Ozon juga semakin tinggi, meskipun pada tegangan tertinggi 16 volt produksi Ozon mulai menunjukkan kejenuhan.

Dari data angka-angka pada tabel dan data grafis terlihat bahwa perbandingan antara **tidak** menggunakan Oksigen konsentrator dan dengan menggunakan Oksigen konsentrator pada tegangan yang sama, hasil produksi Ozon rata-rata ketika menggunakan Oksigen konsentrator meningkat signifikan (237%).

Kemudian ditinjau dari input laju aliran udara (oksigen) dari data angka-angka pada tabel dan data grafis terlihat bahwa hasil produksi Ozon paling optimum pada laju aliran input udara (oksigen) 7,5 L/menit. Adapun hasil produksi Ozon tertinggi adalah **0,19 ppm** dicapai pada tegangan input coil 16 volt dengan input laju aliran udara oksigen terkonsentrasi dengan oksigen konsentrator 7,5 L/menit.

Perlu diketahui pula bahwa dalam percobaan pengujian untuk mendapatkan data-data sebagaimana telah disajikan di atas dilakukan selama 5 menit tiap satu kali pengambilan data.

Jika data produksi Ozon tertinggi sebesar 0,19 ppm dihasilkan dalam waktu 5 menit, maka diartikan bahwa Generator Ozon hasil rancang bangun dapat memproduksi Ozon sebesar 0,19 ppm / 5 menit = 0,038 ppm/menit.

KESIMPULAN

Dari data-data yang diperoleh dalam pengujian operasional generator ozon hasil rancang bangun dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Prototype Generator ozon hasil rancang bangun mampu memproduksi ozon maksimum 0,038 ppm/menit
2. Hasil maksimum yang dapat diproduksi tersebut dicapai ketika dioperasikan dengan menggunakan oxygen concentrator dengan tegangan input coil mobil 16 volt AC, arus 1,25 Ampere, input laju aliran udara 7,5 L/menit dan dengan ukuran tabung lucutan diameter 4 inc panjang 30 cm
3. Dari percobaan pengujian menggunakan oxygen concentrator dan tanpa oxygen concentrator peningkatan produksi ozon sangat signifikan peningkatannya (237%) dari 0,08 ppm menjadi 0,19 ppm
4. Dari beberapa kali pengujian dengan variasi input laju aliran udara didapatkan input laju udara paling optimal adalah 7,5 L/menit.

SARAN

Pada dasarnya laju produksi ozon masih dapat lebih ditingkatkan dengan me mengoptimalkan pemakaian parameter lain yang berhubungan dengan proses terbentuknya ozon (maksimum) diantaranya dengan penyempurnaan dan peningkatan struktur dan ukuran dimensi pada tabung lucutan, peningkatan tegangan dan arus input coil mobil serta , jenis dan keadaan permukaan dari elektroda dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

-
- [1] *Market Watch*, Inc. Agustus 2020, Revenue, Future Growth, Trends Plans, Top Key Players, Business Opportunities, impact of COVID-19 on Industry Analysis by Forecast to 2025 Research Reports World. <https://www.marketwatch.com/press-release/copper-sulfate-market-share-size-2020-business-revenue-future-growthtrends-plans-top-key-players-business-opportunities-impact-of-covid-19-on-industry-analysis-by-forecast-to-2025-research-reports-world-2020-08-26>
 - [2] UIG. 2011. *Air Separation Process Technology and Supply System Optimization Overview*. Universal Industrial Gases, Inc., <http://www.uigi.com/compair.html>.
 - [3] RR, Vemula.2011. *Adsorption Based Portable Oxygen Concentrator for Personal Medical Applications*. National University of Singapore
 - [4] Muchfa, Amrie. 2017. Ignition Coil – Pengertian, Cara Kerja dan Gambar Konstruksi, diakses dari <https://www.autoexpose.org/2017/02/cara-kerja-ignition-coil>
 - [5] Cara Buat Booster Coil 10x Lipat, Untuk Mobil/Motor DLL + skema rangkaian <https://youtu.be/IIAIsEWSst80> 14-08-2021 18.00 wib.