

APLIKASI IGNITION COIL SEBAGAI PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMPULS UNTUK PENYEDIA DAYA REAKTOR OZON

Bimo
Agung Warsito
Abdul Syakur

ABSTRACT

Ozone can be made by passing oxygen gas (O_2) in areas subjected to high voltage. Oxygen molecular (O_2) that are subjected to high voltage will be ionized, that is an atom or molecule releasing process from its binding to oxygen ions (O^*). The types of oxygen ions (O^*) can be O^+ , O_2^+ , O^- , O_2^- and O_3^- . The combination of all of which can produce ozone (O_3).

In this final project, designed high-voltage impulse generator using the ignition coil and DC chopper type buck as the power supply. Ignition coil is chosen because of its small normally-voltage, that is 12 V, but the output voltage can reach 20kV of impulse voltage. To supply the variable voltage, used DC chopper because physically lighter and smaller than variac in general. So that the tool can be more portable. Tests for ozone identification using the decolourization method using needle-broad ozone reactor.

Based on the experiment's result it's known that the impulse high voltage can be generated from this tool are variable between 5-20 kV. The higher the voltage generated, the faster decolourization process. And at voltage 20 kV, absorbance has decreased significantly from 0,517 to 0.094 (82 % decreased) in 10 minutes.

Keywords : Ignition coil, DC chopper buck type, high voltage, ozone, decolourization.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat banyak sekali manfaat yang bisa diambil dari pemanfaatana ozon. Karena sifat oksidatornya yang sangat kuat, maka Ozon sangat unggul untuk desinfeksi (membunuh kuman), detoksifikasi (menetralkan zat beracun) dan deodorisasi (menghilangkan bau tidak enak) dalam air dan udara. Dewasa ini, ozon mulai diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya untuk peningkatan kualitas air, pengobatan ikan dalam akuarium, pengawetan makan bahkan untuk terapi penyembuhan luka bakar

Aplikasi tegangan tinggi dapat dimanfaatkan untuk pembentukan ozon. Peralatan pembangkit tegangan yang *portable* akan memudahkan dalam penggunaannya. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini digunakan DC chopper sebagai regulator tegangan yang secara fisik lebih kecil daripada regulator tegangan AC pada umumnya, namun tetap handal secara fungsi dan memiliki efisiensi tinggi. *Ignition coil* merupakan salah satu komponen yang dapat digunakan sebagai transformator tegangan tinggi. Pada tugas akhir ini ignition coil dipilih karena tegangan kerja normalnya yang kecil, yaitu 12 V, namun memiliki tegangan keluaran mencapai 20 kV impuls pada tegangan kerja.

1.2 Tujuan

Tujuan Tugas Akhir adalah ini berupa perancangan dan aplikasi DC chopper sebagai

pembangkit tegangan tinggi impuls menggunakan ignition coil sebagai penyedia daya reaktor ozon.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pembangkitan tegangan tinggi menggunakan rangkaian *ignition coil*.
2. Konfigurasi elektrode yang digunakan adalah jarum – bidang
3. Pengaturan tegangan masukan menggunakan DC chopper buck converter
4. Pengujian ozon yang dihasilkan menggunakan deteksi perubahan kekeruhan warna zat cair (*decolourization*)
5. Gas masukan menggunakan udara bebas
6. Tidak membahas proses kimia pembentukan ozon secara detail

Pengujian ozon menggunakan perubahan absorbance terhadap waktu reaksi dan terhadap medan listrik.

II. DASAR TEORI

2.1 Pembangkit tegangan Tinggi^[1]

Pembangkitan tegangan tinggi dalam proses pembentukan ozon diperlukan sebagai proses ionisasi. Tegangan tinggi yang diperlukan bisa menggunakan tegangan tinggi bolak-balik (AC), tegangan tinggi searah (DC) maupun tegangan tinggi impuls.

Secara garis besar pembangkit tegangan tinggi

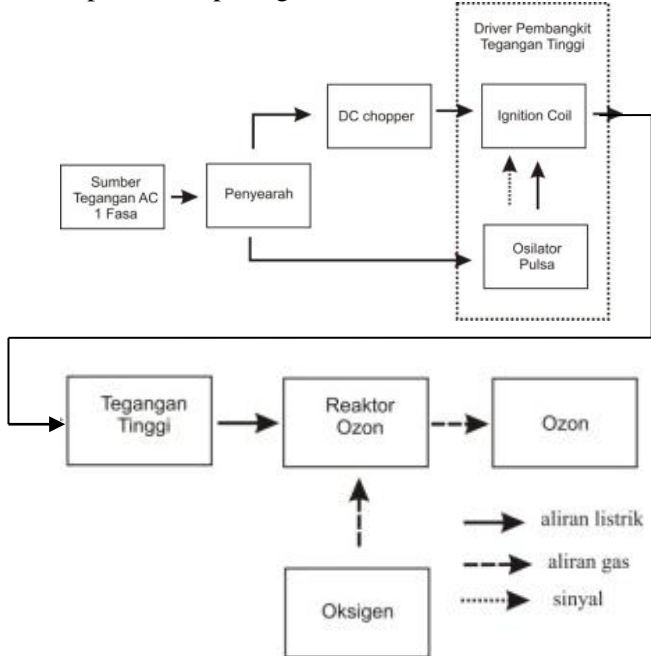
Agung Warsito, Abdul Syakur adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip) Semarang Jl. Prof. Soedarto, S.H. Tembalang Semarang 50275.

Bimo adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip) Semarang Jl. Prof. Soedarto, S.H. Tembalang Semarang 50275

terdiri atas :

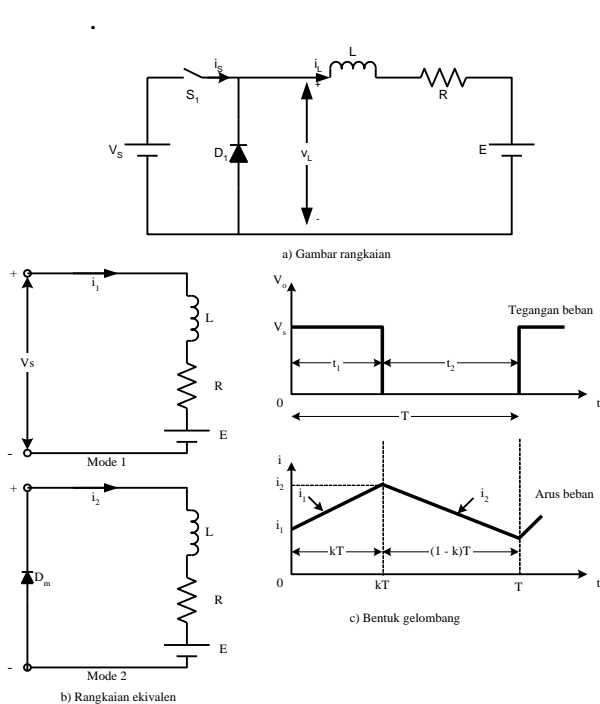
1. Pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC).
2. Pembangkit tegangan tinggi searah (DC).
3. Pembangkit tegangan tinggi impuls.

Sedangkan rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls menggunakan *ignition coil* yang akan dirancang pada penelitian ini, blok diagramnya dapat dilihat pada gambar 1. di bawah ini.



Gambar 1. Blok diagram pembangkit tegangan tinggi impuls dengan ignition coil

2.2 DC chopper tipe Buck^[6]



Gambar 2 Dc chopper tipe buck

Cara kerja *dc chopper* dapat dibagi menjadi dua mode. Selama mode 1, *dc chopper* akan *on* dan arus mengalir dari sumber ke beban. Selama mode 2, *dc chopper* akan *off* dan arus beban terus mengalir melewati dioda *freewheeling* D_m karena adanya energi yang tersimpan dalam induktor. Rangkaian ekuivalen untuk mode-mode ini ditunjukkan pada gambar 2.3 Sedangkan bentuk gelombang arus beban dan tegangan keluaran ditunjukkan pada gambar 2.3 Dengan mengasumsikan arus induktor naik secara linier dari I_1 ke I_2 pada waktu t_1 , maka

$$V_L - V_O = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1}$$

$$\Delta I = \frac{(V_S - V_L) t_1}{L} = \frac{V_O \cdot t_2}{L}$$

dimana $\Delta I = I_2 - I_1$ (1)

Jika $t_1 = kT$ dan $t_2 = (1-k) T$ maka tegangan keluaran rata-rata (V_L) adalah

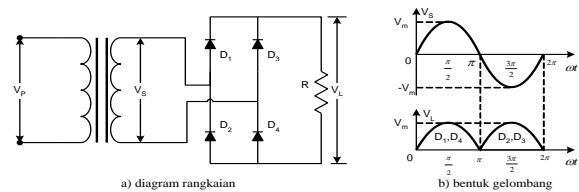
$$V_L = V_S \frac{t_1}{T} = k V_S \quad (2)$$

Sedangkan arus masukan rata-rata (I_L) adalah

$$I_S = k I_L \quad (3)$$

2.3 Penyearah Jembatan Penuh^[6]

Rangkaian penyearah jembatan menggunakan susunan empat dioda seperti terlihat pada gambar 4. dibawah ini.



Gambar 3. Penyearah tipe jembatan

Selama tegangan masukan mengalami siklus setengah positif, daya disalurkan ke beban melalui dioda D_1 dan D_4 yang terbias maju dan saat siklus setengah negatif, dioda D_3 dan D_2 yang terbias maju.

Besarnya tegangan dc rata-rata (V_{dc}) adalah

$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int_0^{T/\pi} V_m \sin \omega t dt$$

$$= \frac{2V_m}{\pi} = 0,6366V_m \quad (4)$$

2.3 IC TL494^[7]

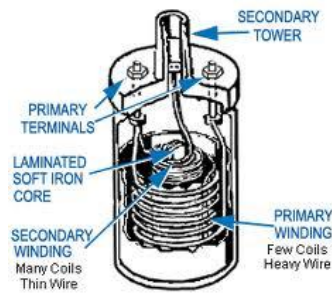
IC TL 494 merupakan IC 16 pin yang digunakan untuk menghasilkan gelombang kotak yang dapat diatur frekuensi dan *duty cycle*-nya. Pengaturan *duty cycle* dilakukan dengan mengatur R pada pin3 terhadap ground, sedangkan

pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai R pada pin 6 dan C pada pin 5.

$$f_s = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (5)$$

2.4 Ignition Coil ^{[11][12]}

Ignition coil merupakan autotrafo dengan lilitan sekunder satu inti dengan lilitan primer. Perbandingan lilitan primer dengan sekunder 1:100. Meskipun demikian, pada tegangan kerja noremal, 12 V, dapat menghasilkan tegangan output sampai dengan 20 kV.



Gambar 4. Penampang ignition coil

Pada saat ignition coil terhubung dengan sumber tegangan, arus mengalir pada lilitan primer, ini menyebabkan timbulnya medan magnet pada lilitan primer.

Arc justru terjadi ketika ignition coil diputuskan dengan sumber tegangan, sehingga terjadi perubahan besar arus yang mengalir pada lilitan primer. Lilitan primer dapat dianggap sebagai induktor, dan induktor ideal berlaku persamaan :

$$V = L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

di mana :

V : tegangan (V)

L : induktansi (H)

$\frac{dI}{dt}$: perubahan arus (A/sekon)

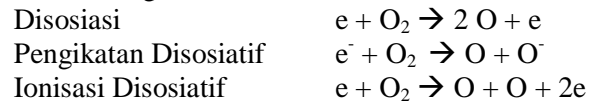
Berdasarkan persamaan (6), perubahan arus secara mendadak akan menyebabkan kenaikan tegangan yang sangat tinggi, dari 12 V menjadi sekitar 200 V. Dengan perbandingan lilitan 1:100, maka pada saat tegangan primer 200 V, maka tegangan pada sekunder menjadi 20.000 V atau 20 kV, cukup untuk menghasilkan arc.

2.5 Ozon ^{[3][4][5]}

Ozon dapat dibuat dengan melewati gas oksigen (O₂) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi. Molekul O₂ ini akan mengalami ionisasi, yaitu proses terlepasnya suatu atom atau molekul dari ikatannya, menjadi ion-ion oksigen (O^{*}). Jenis-

jenis dari ion oksigen (O^{*}) adalah O⁺, O₂⁺, O⁻, O²⁻ dan O₃⁻. Kombinasi dari kesemuanya dapat menghasilkan ozon.

Pembentukan ozon dalam proses ini diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut :

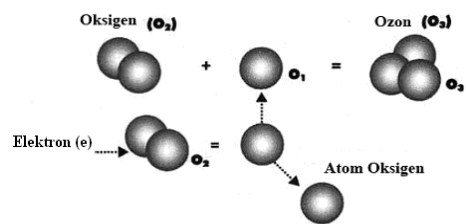


Kemudian radikal oksigen akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan ozon.



dimana M adalah N₂ atau O₂.

Dibawah ini merupakan gambar dari perubahan bentuk susunan atom oksigen menjadi molekul ozon (O₃) :



Gambar 5. Pembentukan gas ozon melalui proses tumbukan

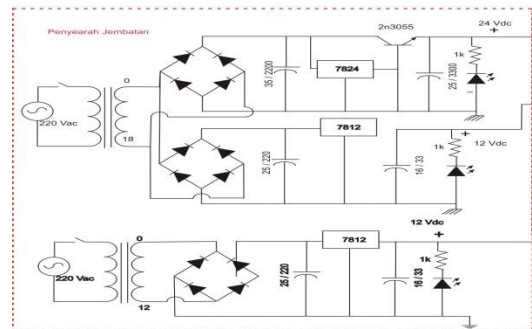
2.6 Absorbansi ^[10]

Cahaya yang dilewatkan pada sebuah medium cair akan mengalami dua kemungkinan, yaitu ditangkap atau dihamburkan, ini tergantung dari kepekatan medium yang dilalui cahaya tersebut. Absorbansi merupakan banyaknya cahaya atau energi yang diserap partikel-partikel dalam larutan. Alat untuk mengukur absorbansi adalah spektrofotometer

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Penyearah

Penyearah berfungsi mengubah tegangan AC menjadi DC sebagai power suplai untuk DC chopper, rangkaian PWM chopper dan osilator pulsa.



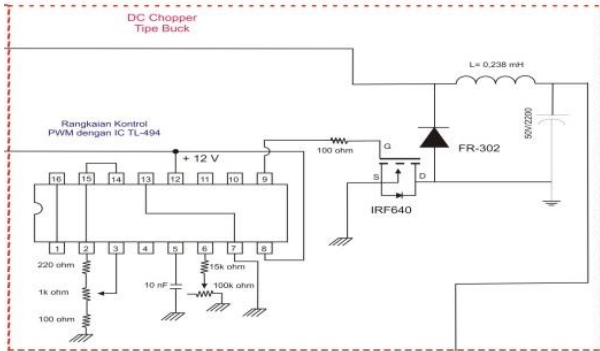
Gambar 6. Rangkaian penyearah

Agar tegangan sesuai dengan nilai yang

diinginkan, yaitu 12V dan 24V, maka digunakan LM 7812 dan LM 7824.

3.2 DC chopper

DC chopper berfungsi untuk menghasilkan tegangan DC variabel. Blog diagram Rangkaian DC chopper dapat dilihat pada gambar 5. Di bawah ini.



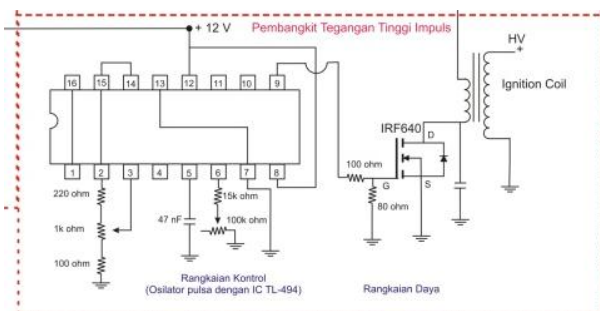
Gambar 7. Rangkaian DC chopper

Diode yang digunakan adalah FR-302. Tegangan keluaran pada DC chopper tergantung dari nilai yang dikenakan untuk driving Mosfet. Untuk itu, digunakan IC TL 494 sebagai rangkaian kontrol PWM-nya dengan frekuensi kerja 2500 Hz.

Mosfet yang digunakan adalah IRF 640. mempunyai tegangan breakdown drain source $V_{(BR)DS}$ adalah 200 V dan kemampuan arus drain maksimal 18 A, cukup untuk menjamin keamanan rangkaian.

3.3 Pembangkit Tegangan Tinggi

Rangkaian pembangkit tegangan tinggi terdiri dari osilator pulsa (rangkaiannya kontrol) dan rangkaian daya. Rangkaian kontrol yaitu osilator pulsa yang berfungsi menghasilkan gelombang kotak menggunakan IC TL 494. Frekuensi *Driving* ignition coil menggunakan mosfet IRF 640. Mosfet berfungsi sebagai saklar yang dikendalikan oleh IC TL 494. Gambar Rangkaian pembangkit tegangan tinggi dapat dilihat pada gambar 6. Di bawah ini.

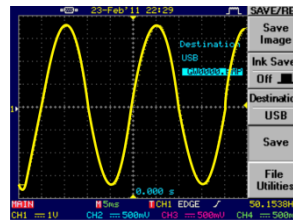


Gambar 8. Rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls

IV. PENGUJIAN & ANALISA

4.1 Pengujian Tegangan jala-jala PLN

Bentuk dan besarnya tegangan dapat dilihat seperti pada gambar 7 sebagai berikut :



$$V_p = 3,2 \text{ div} \times 10 \text{ V/div} \times 10 = 320 \text{ Volt}$$

Gambar 9. Tegangan Jala-jala PLN 10 V/div, 5 ms/div, probe x 10

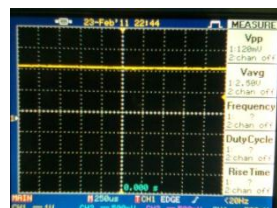
Dan apabila dihitung tegangan rata-ratanya adalah

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{320}{\sqrt{2}} = 226 \text{ Volt}$$

4.2 Pengujian Penyearah tegangan

Terdapat 3 penyearah, yaitu untuk power suplai DC chopper, power suplai PWM DC chopper, dan power suplai osilator pulsa ignition coil

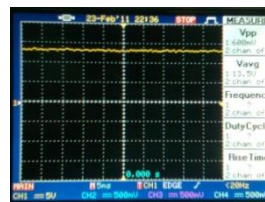
4.2.1. Power Suplai DC Chopper



$$V_{DC} = 2,3 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} \times 10 = 23 \text{ Volt}$$

Gambar 10. Tegangan keluaran Penyearah 1 1V/div, 250 us/div, probe x 10

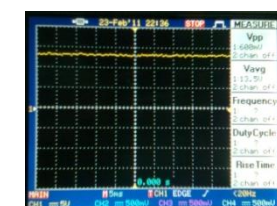
4.2.2. Power Suplai PWM DC chopper



$$V_{DC} = 2,4 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} \times 1 = 12 \text{ Volt}$$

Gambar 11. Tegangan keluaran Penyearah 2 5V/div, 5 ms/div, probe x 1

4.2.3 Power Suplai osilator pulsa ignition coil



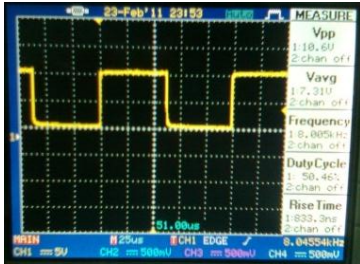
$$V_{DC} = 2,4 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} \times 1 = 12 \text{ Volt}$$

Gambar 12. Tegangan keluaran Penyearah 3 5V/div, 5 ms/div, probe x 1

4.3 Pengujian DC chopper

4.3.1 Rangkaian PWM

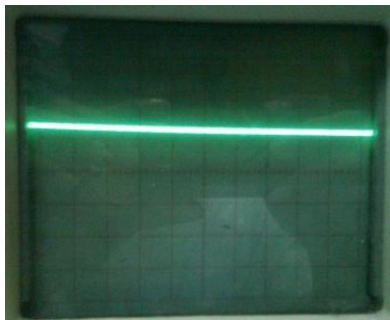
Gelombang keluaran IC TL 494 adalah *single-ended*. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan probe positif osiloskop dengan pin 9, dan negatifnya dihubungkan dengan ground.



Gambar 13. Output PWM; 5 V/div, 250us/div, probe x1

4.3.2 Tegangan Keluarann DC chopper

Gambar 14 di bawah ini merupakan hasil pengujian tegangan keluaran DC chopper pada *duty cycle 25 %*.



Gambar 14 Tegangan keluaran DC chopper; 5 V/div, 0,5 ms/div, probe x1

Dari gambar 14 diatas, dapat diketahui bahwa tegangan keluarann sebesar 1,2 div., sehingga nilainya dapat dihitung :

$$V_{out} = 1,2 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} \\ = 6 \text{ V}$$

Pada tabel 1 berikut dapat dilihat hasil pengukuran tegangan keluaran DC chopper yang dibuat.

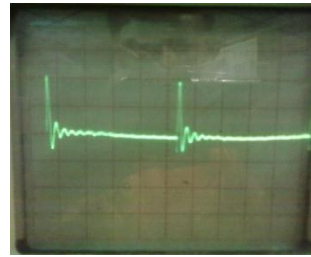
Tabel 1. Pengujian tegangan keluaran DC chopper

No	Duty Cycle (%)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _O (V)	I _O (A)
1	12,5	23,5	0,027	3,717	0,131
2	25	23,47	0,086	6,680	0,254
3	37,5	23,47	0,164	9,250	0,356
4	50	23,46	0,250	11,450	0,470
5	62,5	23,44	0,360	13,990	0,590
6	75	23,44	0,560	17,450	0,730

4.4 Pengujian Tegangan Tinggi Impuls

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan

tegangan keluaran berbeda, yaitu :



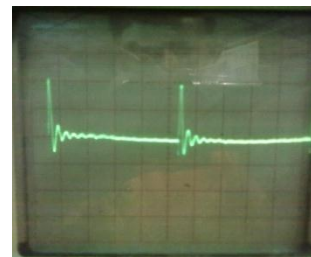
$$V = 2 \text{ div} \times 5 \text{ v/div} \times 1000 \\ = 10.000 \text{ Volt} \\ = 10 \text{ kVolt}$$

Gambar 15. Tegangan keluaran 10kV



$$V = 1,5 \text{ div} \times 1 \text{ v/div} \times 10.000 \\ = 15.000 \text{ Volt} \\ = 15 \text{ kVolt}$$

Gambar 16. Tegangan keluaran 15kV



$$V = 2 \text{ div} \times 1 \text{ v/div} \times 10.000 \\ = 20.000 \text{ Volt} \\ = 20 \text{ kVolt}$$

Gambar 17. Tegangan keluaran 20kV

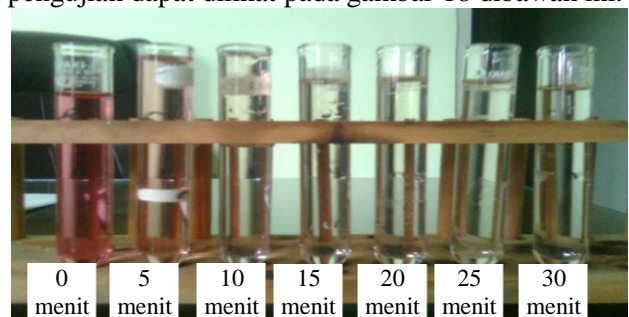
4.5 Pengujian Ozon

Salah satu cara untuk mengidentifikasi adanya ozon adalah dengan pengujian *decolourisasi* warna pada cairan. Sampel cairan yang digunakan adalah 5 mL Fanta merah dicampur 95mL air.

Ozon yang dihasilkan dari reaktor dipompa masuk ke dalam cairan sampel menggunakan melalui selang.

4.5.1 Pengujian terhadap Waktu

Pada pengujian ini, diamati pengaruh waktu terhadap decolourisasi warna yang terjadi. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 18 dibawah ini.



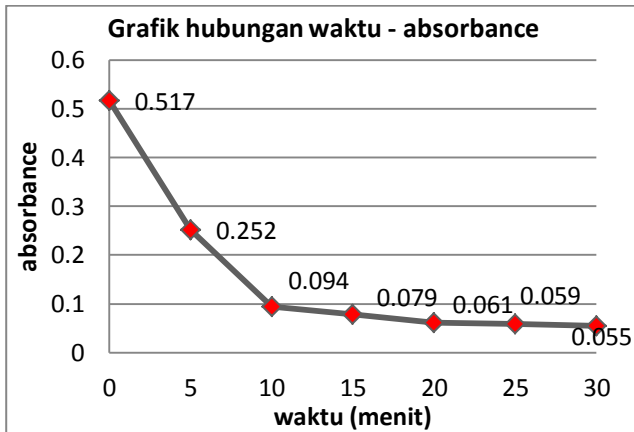
Gambar 18. Hasil pengujian decolourisasi warna terhadap waktu

Tabel 2 Hasil pengukuran tingkat Absorbance terhadap waktu

Waktu	Tingkat
-------	---------

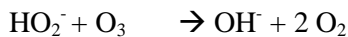
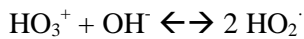
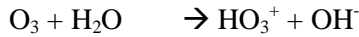
(menit)	absorbance
0	0,517
5	0,252
10	0,094
15	0,079
20	0,061
25	0,059
30	0,055

Dari tabel 2 di atas dapat dibuat grafik seperti pada gambar 19. sebagai berikut.



Gambar 19. Grafik hubungan tingkat absorbance terhadap waktu

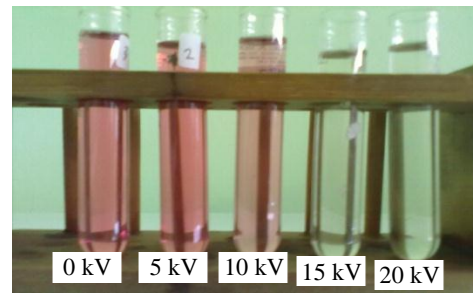
Dari gambar 18 dan 19 terlihat bahwa semakin lama cairan diberi gas ozon maka warnanya akan semakin pudar. Ini karena ozon membentuk peroxide (HO₂) ketika bereaksi dengan air.



Pada waktu yang sama, ozon yang dihasilkan oleh reaktor akan bereaksi dengan peroxide membentuk radikal OH⁻ dan gas oksigen (O₂). Radikal peroxide yang terbentuk selama reaksi akan berubah menjadi OH⁻ dan menguraikan ikatan warna pada cairan. Sehingga air yang diberi ozon warnanya akan memudar

4.5.2 Pengujian terhadap Medan Listrik

Pada pengujian ini, cairan sampel yang diuji diberi udara keluaran dari reaktor ozon selama 30 menit dengan variasi tegangan masukan yang berbeda, yaitu 5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 20. Di bawah ini

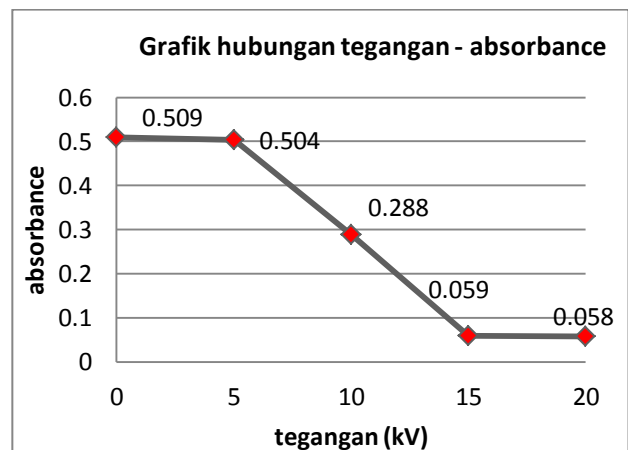


Gambar 20. Hasil pengujian decolourisasi warna terhadap medan listrik

Tabel 4.4 Hasil pengukuran tingkat absorbance terhadap tegangan tinggi impuls.

Tegangan (kV)	Tingkat absorbance
0	0.509
5	0.504
10	0.284
15	0.059
20	0.029

Dari tabel 3 di atas dapat dibuat grafik seperti pada gambar 21 sebagai berikut.



Gambar 21. Grafik hubungan tingkat absorbance terhadap medan listrik

Dari gambar 20 dan 21 terlihat bahwa semakin tinggi tegangan yang diterapkan maka warna cairan akan semakin pudar hal ini terjadi karena semakin tinggi tegangan yang diterapkan maka medan listrik yang timbul akan semakin tinggi sehingga molekul-molekul O₂ semakin mudah terionisasi dan semakin mudah membentuk ozon.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan tegangan keluaran terhadap masukan pada ignition coil jauh lebih besar daripada perbandingan lilitan primer terhadap sekunder, hal ini dikarenakan pemberian tegangan masukan berupa tegangan kotak yang menyebabkan

- perubahan arus yang menginduksi lilitan primer dalam waktu singkat.
2. Tegangan keluaran berupa tegangan tinggi impuls dengan tegangan puncaknya bervariasi antara 5 kVolt sampai dengan 20 kVolt
 3. Ozon dapat diidentifikasi melalui proses decolourisasi warna
 4. Proses *decolourisasi* akan semakin cepat jika tegangan yang diberikan semakin tinggi, karena semakin tinggi tegangan, semakin cepat terjadi ionisasi oksigen.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan faktor keamanan, sebaiknya kerangka peralatan yang terbuat dari logam perlu diketanahkan, agar tidak timbul gradien tegangan antar peralatan dengan tanah yang dapat menyebabkan mengalirnya arus ke tanah jika terjadi kesalahan sentuh.
2. Untuk mengetahui perubahan hasil produksi ozon dapat dilakukan dengan mengubah bentuk elektrode pada reaktor.
3. Penelitian mengenai pemanfaatan ozon secara masih dapat dikembangkan lebih lanjut, baik mengenai pembangkitan maupun aplikasinya. Sebagai contoh, penelitian mengenai pemanfaatan ozon pada terapi penyembuhan luka bakar, tentunya bekerja sama dengan disiplin ilmu yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing, B.L. 2003. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- [2] Arifin, Fajar. 2009. Tugas Akhir : *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*. Semarang : Universitas Diponegoro
- [3] Nasution, P. 2006. Tugas Akhir: *Sintesis Ozon Menggunakan Reaktor Plasma Lucutan berpenhalang Dielektrik (Dielectric Barrier Discharge) Dengan Elektroda Berkonfigurasi Kawat Bidang*. Semarang : Universitas Diponegoro
- [4] Anggoro. 2006. Tugas Akhir : *Sistem Pembangkit Plasma Lucutan Korona yang Terintegrasi dengan Sistem Tenaga Sepeda Motor*. Semarang : Universitas Dponegoro
- [5] Yusuf, Baharudin. 2008. Tugas Akhir : *Aplikasi Tegangan Tinggi Impuls Pada Pembuatan Reaktor Ozon (O₃)*. Semarang : Universitas Diponegoro
- [6] Rashid, M. H. 1993. *Power Electronics : Circuit, Devices, and Application*. New Jersey : Prentice-Hall International Inc
- [7] Rahardjo, Rino Eko. 2006. Tugas Akhir : *Pembuatan Modul Perangkat Keras DC Chopper*. Semarang : Universitas Diponegoro
- [8] ---, Jan Perkowski, Decolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes. http://www.fibtex.lodz.pl/42_19_67.pdf, Februari 2008.
- [9] ---, Fajar Arifin. & Agung Warsito. *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*. <http://eprints.undip.ac.id/25197/>, 2009
- [10] Cahya, Panji Mawarda. 2010. Spektrofotometri-Kimia Analitik. <http://panjicm.wordpress.com/2010/07/15/26/> [10 Mei 2011]
- [11] ---, 2011. How to Use Ignition Coil. <http://www.sentex.net/~mwandel/cannon/sparky.html> [15 Maret 2011]
- [12] Aochim, 2009. Ignition Coil. <http://aochim.blogspot.com/2009/06/sistem-pengapian-ignition-coil.html> [15 Maret 2011]
- [13] Sugiarto, Anton Tri. 2008. Daur Ulang Air Limbah. <http://artesis.wordpress.com/2007/09/19/daur-ulang-air-limbah/> [15 Agustus 2010]
- [14] ---, 2007. Teknologi Ozon Alternatif Pengawet Makanan yang Aman <http://www.lipi.go.id/www.cgi?berita&1174722813&&2007&> [8 Mei 2010]
- [15] ---, 2011. Induktor. <http://id.wikipedia.org/wiki/Induktor> [8 Mei 2011]

BIODATA PENULIS



Bimo, lahir di kota Surakarta 23 September 1988. Menjalani pendidikan SD Setono, SLTPN 1 Surakarta, SMAN 4 Surakarta dan saat ini sedang menyelesaikan studi strata 1 di Teknik Elektro Universitas Diponegoro mengambil Konsentrasi Ketenagaan

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I,

Ir. Agung Warsito, DHET.
NIP. 1958061719871002

Dosen Pembimbing II,

Abdul Syakur, S.T., M.T.
NIP. 197204221999031004